

INSTITUT POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

N° attribué par la bibliothèque

|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'Institut polytechnique de Grenoble

Spécialité : « Génie Industriel »

préparée au laboratoire G-SCOP (Laboratoire des Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la
Production)

dans le cadre de **l'Ecole Doctorale « Ingénierie-Matériaux Mécanique Energétique
Environnement Procédés Production »**

présentée et soutenue publiquement

par

Aymen MILI

Le 21 octobre 2009

Vers des méthodes fiables de contrôle des procédés par la maîtrise du risque
Contribution à la fiabilisation des méthodes de process control d'une unité de Recherche et de
Production de circuits semi-conducteurs

DIRECTEURS DE THESE : Michel TOLLENAERE & Stéphane HUBAC

JURY

M. Benoit Iung	, Président
M. Maurice Pillet	, Rapporteur
M. Daniel Noyes	, Rapporteur
M. Stéphane Dauzère-Pérès	, Examinateur
M. Michel Tollenaere	, Directeur de thèse
M. Stéphane Hubac	, Directeur Industriel
M. Ali Siadat	, Co-encadrant
M. Samuel Bassetto	, Co-encadrant

« La logique n'est rien d'autre qu'une description de l'action de penser et dans la plupart des cas la suit »

Ibn Khaldoun

« I know you believe you understand what you think I said, but I am not sure you realize that what you heard is not what I meant. »

W.E. Deming

REMERCIEMENTS

Avant de commencer ce manuscrit je souhaite adresser quelques remerciements à tous ceux qui ont contribué à ce travail et m'ont permis d'aboutir à la fin de ces trois années de thèse.

Je remercie monsieur Benoit Iung, mon ancien professeur à l'ISIAL, d'avoir accepté de présider mon jury de thèse et pour ses remarques et critiques sur mon rapport.

Je remercie messieurs Maurice Pillet, Daniel Noyes et Stéphane Dauzere-Peres pour le temps qu'ils ont pris pour rapporter mon travail, leurs remarques constructives et leur disponibilité pour répondre à mes questionnements.

Cette thèse a été encadrée par une équipe de chercheurs et industriels dont je me félicite d'avoir travaillé avec eux et partager leur expérience :

Un grand merci pour vous Mr Michel Tollenaere, pour m'avoir encadré, conseillé et pour votre temps que vous avez consacré à diriger mes travaux. Merci pour votre présence et soutien continus...

Merci à vous Mr Stéphane Hubac, pour tous ce que vous avez fait dès le premier jour au dernier de ma thèse. Je pense être parmi les rares qui ont eu cette chance de vous avoir comme directeur : l'expert et l'homme.

Mr Alain Deleporte, je ne saurai vous remercier pour votre soutien et encadrements continus. Vous m'avez intégré au sein de l'entreprise et vous avez toujours répondu à mes questions. J'ai eu un énorme plaisir de travailler et échanger avec vous.

Mr Ali Siadat, sans votre recommandation cette thèse n'aura pas eu lieu, j'en suis reconnaissant. Ton encadrement, tes encouragements et tous ce que t'as fait pour moi je souhaite que ca continue par une amitié...

Mr Samuel Bassetto, merci pour tout... t'as passé beaucoup de temps à m'encadrer à me diriger et sans ton encadrement je ne saurai avancer dans ma thèse et mes recherches.

Merci pour ce plaisir que j'ai eu pour travailler avec vous et pour le temps qu'on a passé ensemble espérant que ca continue.

Merci à tous mes amis et collègues à ST et G-scop, mes amis de Grenoble et de Metz. On a passé des bons moments mais ca passe vite...

Sans ma famille et leur soutien dès mon arrivée en France, cette thèse n'aura aboutit. Les mots ne suffiront jamais à te remercier mon très cher papa « SI Khaled el MILI », tu es toujours mon exemple, le père, l'ami qui a su faire son devoir. Tu m'as accompagné, soutenu et encadré depuis toujours. Cette thèse est le fruit de ton soutien et elle est pour toi...

Ma très chère maman « Ommi Rachida », je ne saurai ni comment le dire ni comment l'écrire : je veillerai toute ma vie à te rendre un petit bout de ce que tu m'as donné d'amour et de soutien. Merci du fond du cœur...

Tous mes remerciements sont à mes frères Abdel Hakim et Mehdi, qui m'ont soutenu, aidé dans les moments les plus difficiles.

Tu es toujours dans mes pensées, merci pour ta patience, ta présence à mes côtés ... ma très chère fiancée « Rawya » notre vie est à nous...

Merci à tous !

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : LES METHODES DE CONTROLE DES PROCEDES & LE CONTEXTE INDUSTRIEL	7
I. INTRODUCTION :	9
II. LA MICROELECTRONIQUE	9
1- Les composants semi-conducteurs	9
2- Les applications industrielle des composants ST	11
3- La production de puce dans un environnement "salle blanche"	11
III. INTRODUCTION AU CONTROLE DES PROCEDES (PROCESS CONTROL).....	13
1- Contexte général du contrôle des procédés	13
2- Cartographie du process control ST Crolles	13
IV. LES ANALYSES DE RISQUES CHEZ ST.....	15
1- Pourquoi les Analyses des Risques.....	15
2- Comment sont-elles intégrées ?	16
3- Constat du déploiement	16
V. PROBLEMATIQUE DE LA THESE	17
1- Analyse des risques liés aux dérives équipements	18
2- La gestion des plans d’actions.....	19
VI. CONCLUSION :	20
CHAPITRE II : APPORT D’ANALYSE DE RISQUE EN MAINTENANCE PAR UNIFICATION DES PLANS D’ACTION	21
I. INTRODUCTION :	23
II. LES ANALYSES DES RISQUES :	23
1- Quelques définitions :	24
2- Processus de gestion des risques :	26
3- Pourquoi les AMDEC – ou analyses de risque ?	27
4- Les méthodes d’analyse des risques :	28
5- Typologie des risques industriels :	29
6- Synthèse: Les analyses des risques entre avantages et inconvénients :	31
III. LES ANALYSES DES RISQUES DANS UN PROCESSUS DE MAINTENANCE	32
1- Bref aperçu sur l’évolution de la fonction maintenance.....	32
2- Les risques et la maintenance : Risk Based Maintenance	33
3- RBM : domaines et quelques cas d’application	35
4- Synthèse : constat et améliorations possibles	36
IV. LES METHODES DE GESTION DES PROBLEMES ‘QUALITE’	37
1- PDCA, une dynamique d’amélioration continue.....	37
2- Le risque dans un cycle PDCA.....	38
3- Résolution des problèmes Plans d’actions : types et gestion actuelle	41
4- Plan d’actions ou processus de décision ?	43
5- Une intégration du risque, de l’expertise et des événements ?	44
V. SYNTHESE ET CONTEXTE DE PROPOSITION :	46
1- Comment apprend-on des événements réels ?	47
2- Risk Based Maintenance « Dynamique » : suivi et mise à jour ?	48

3-	Des plans d'actions unifiés : les Risques sont-ils pris en compte ?	48
VI.	CONCLUSION :	49
CHAPITRE III :	VERS UNE GESTION DYNAMIQUE DES RISQUES BASES SUR LES DONNEES DE PRODUCTION	51
I.	INTRODUCTION :	53
II.	LES RISQUES DANS UN SYSTEME DE MAINTENANCE :	53
1-	Les politiques de maintenance :	54
2-	Le rôle des analyses des risques dans l'optimisation des priorités de maintenance	55
III.	LE MODELE D'UNE GESTION DYNAMIQUE DES RISQUES MAINTENANCE, RISK BASED MAINTENANCE DYNAMIQUE RBMD ..	57
1-	La gestion des évènements maintenance	57
2-	Proposition	58
3-	Panne équipement vs risque	61
4-	Mise à jour dynamique de la base des risques	62
5-	Modèle de données :	63
6-	Application opérationnelle	65
IV.	CAS D'APPLICATION :	67
1-	La structure des données risques et les données des pannes	68
2-	La maintenance des équipements lithographie	68
3-	Implémentation de l'approche	69
4-	Résultats	72
V.	CONCEPTUALISATION DE L'APPROCHE POUR TOUTES LES DONNEES DE PRODUCTION	75
1-	Modélisation des sources d'évènements en entreprise	75
2-	Lien entre analyse de risque et gestion des problèmes	76
VI.	CONCLUSION	79
CHAPITRE IV :	UNIFICATION DU PROCESSUS DE GESTION DES PLANS D'ACTIONS	81
I.	INTRODUCTION:	83
II.	LA GESTION D'UN PLAN D'ACTIONS	84
1-	Définitions	84
2-	Méthodes	84
3-	Exemple du semi-conducteur	86
4-	Besoins	88
III.	FMECA vs 8D	88
1-	Le processus 8D en détail	90
2-	La gestion actuelle (courante) des 8D et FMECA	91
IV.	VERS UNE GESTION UNIFIEE DES PLANS D'ACTIONS, RBAP: RISK BASED ACTIONS PRIORITIES	92
1-	Liens possibles entre FMECA et 8D	92
2-	Diagramme d'activités	93
3-	Décision multicritère	96
4-	Modèle de gestion des données communes	97
V.	IMPLEMENTATION DE L'APPROCHE	99
1-	Cas d'utilisations	99
2-	Actions parallèles : analyse du niveau de risque et de la criticité des évènements	102
3-	Algorithme de traitement des évènements opérationnels	104
4-	Convergence vers un plan d'actions unifié RBAP	106

VI.	DEPLOIEMENT INDUSTRIEL	106
1-	Développement de l'application	107
2-	Indicateurs de performance	108
3-	Exemple et cas d'étude	110
4-	Résultats du déploiement	112
VII.	CONCLUSION.....	112
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES		115
BIBLIOGRAPHIE		121
ANNEXES		131

FIGURES

Figure I.3 Processus de fabrication d'une puce	10
Figure I.1 circuit intégré	10
Figure I.2 Transistor NMOS	10
Figure I.4 Produits STMicroelectronics	11
Figure I.5 Synoptique du Process Control (Hubac 2007)	14
Figure I.6 Nombre de SCARP classés par source	18
Figure I.7 Nombre de SCRAP dus aux pannes sur une année	18
Figure I.8 Gestion actuelle des plans d'actions chez STMicroelectronics	19
Figure II.1 Risk analysis process (Duffus 2001)	23
Figure II.2 Flow gestion des risques	26
Figure II.3 FMECA Typologies (Stamatis 2003)	30
Figure II.4 RBM: General risk-based maintenance approach (Arunraj and Maiti, 2007)	34
Figure II.5 Application concept for risk based engineering (Fujiyama et al. 2004)	35
Figure II.6 Roue de qualité – PDCA (Chardonnet & Thibaudon 2003)	37
Figure II.7 Dimensions PDCA dans l'approche du risque (Chardonnet & Thibaudon 2003)	39
Figure II.8 Combinaison des analyses des risques et OHS (Labodova 2004)	40
Figure II.9 La méthode de résolution des problèmes (Crepin & Robin 2001)	41
Figure II.10 Association type de problèmes vs action	42
Figure II.11 processus décisionnel de Simon (Simon 1977)	44
Figure II.12 processus de la méthode « Contingent risk and decision analysis » (Körte 2003)	45
Figure II.13 vers un Risk Based Maintenance et des plans d'actions « Dynamiques »	49
Figure III.1 Les différentes formes de maintenance	54
Figure III.2 Taux de rejets par source	56
Figure III.3 Nouvelle approche pour la RBM : RBMd	60
Figure III.4 IDEF0 – RBM dynamique	61
Figure III.5 Liens identifiés entre données de maintenance et risques	62
Figure III.6 Modèle de données	64
Figure III.7 Idef0 – Mise à jour des risques	66
Figure III.8 Les différentes étapes de la photolithographie	67
Figure III.9 FMECA vs Equipment classification	68
Figure III.10 Extract of FMECA load port module	72
Figure III.11 Evolution du niveau de risque (Atelier Litho)	73
Figure III.12 Restructuration des risques (Atelier Litho)	73
Figure III.13 Variabilité du downtime pour les Load_Port	74
Figure III.14 Processus actuel du management des actions	76
Figure III.15 Processus proposés pour la gestion des plans d'actions	77
Figure III.16 Modèle de données pour la gestion des risques et évènements	78
Figure IV.1 Gestion des risques pour une entreprise de semi-conducteurs	86
Figure IV.2 Exemple de liens entre les risques sur différents niveaux	87
Figure IV.3 Correspondance en Bowtie et FMECA	89
Figure IV.4 Plan d'actions 8D: Défaillances produits	91
Figure IV.5 Plan d'actions risque : risques produits & opérationnels	92
Figure IV.6 Plan d'actions correctif : défaillances opérationnelles équipements	92
Figure IV.7 Processus joignant analyse des risques et plan d'actions	93
Figure IV.8 Processus proposé pour l'unification des plans d'actions	95
Figure IV.9 Processus de gestion des risques & des plans d'actions	96
Figure IV.10 UML model	98
Figure IV.11 Diagramme des cas d'utilisation (use cases)	100
Figure IV.12 Schéma global des cas d'utilisation	102
Figure IV.13 Action plan flow	103
Figure IV.14 RBAP: Un processus dynamique	106

Figure IV.15 Structure de l'outil Fair8	107
Figure IV.16. Manufacturing action plan evolution &	109
Figure IV.17. Cycle time evaluation.....	109
Figure IV.18 Images de corrosion humide sur wafer	110
Figure IV.19 Extrait de la base des risques.....	111
Figure IV.20 Comparaison de l'évolution du temps de cycle des AP avant et après RBAP	112

TABLES

Tableau II-1 Grilles AMDE – AMDEC (Faucher 2004)	25
Tableau II-2 Analyses des risques : exemples d'avantages et d'inconvénients	31
Tableau III.1 Occurrence grid (corporate)	66
Tableau III.2 Occurrence matrix on a period of 12 months	67
Tableau III.3 Calcul de la limite $R_{po} = R_s * R_o$	70
Tableau III.4 Extrait des données de la base GMAO	71
Tableau III.5 Quantification de l'impact des défaillances	71
Tableau IV-1 Exemples d'outils, objectifs et méthodes d'évaluation.	85
Tableau IV-2 Tableau de gestion des priorités	111

Annexes

Annexe 1 SPC-FDC- R2R.....	132
Annexe 2 Grilles de cotation	138
Annexe 3 Analyse fonctionnelle et FMECA	141
Annexe 4 Exemple FMECA	145
Annexe 5 Extrait du programme VB.....	147
Annexe 6 Flow FAIR8.....	152
Annexe 7 Schéma de la base FAIR8 (extrait)	154
Annexe 8 Architecture technique	156

Lexique

AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets et leurs Criticités
APC	Advanced Process Control
BE	Back-End
CMMS	Computerized Maintenance Management System
CMP	Polissage Mécano-Chimique ou Chemical Mechanical Polishing
Cp	Indice de capabilité processus
DEF	Défectivité
ECN	Engineering Change Notice
FC	Failure Code
FDC	Fault Detection and Classification
FE	Front-End
FMECA	Failure Mode, Effect and Criticality Analysis
FOUP	Front Opening Unified Pod
GMAO	Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
HAZOP	Hazard and Operability
ISO	International Organisation for Standardization
MOS	Metal Oxide Semiconductor
MSP	Maîtrise Statistique des Procédés
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
NMOS	Negative Metal Oxide Semiconductor
NPW	Non Production Wafer ou wafer témoin
ORA	Optimal Risk Assessment
PCRB	Process Change Review Board
PDCA	Plan Do Check Act
PMD	Pré-métal diélectrique
PMOS	Positive Metal Oxide Semiconductor
PT	Test Electrique ou Parametric Test
QRA	Quantitative Risk Assessment
R&D	Recherche et Développement
RBM	Risk Based Maintenance
RPN	Risk Priority Number
R2R	Run-to-run ou boucle de régulation
SPC	Contrôle Statistique des Procédés ou Statistical Process Control
TH	Epaisseur ou Thickness
UCL	Limite de Contrôle Haute ou Upper Control Limit
Wafer	Plaque de silicium vierge



Introduction générale

L'industrie de la microélectronique a, depuis sa genèse dans les années 50, appuyé son développement sur son excellence technologique, lui permettant de renouveler son offre de produits à un rythme inconnu des autres secteurs industriels. La loi de Moore (Moore 1965) montre l'évolution exponentielle de la complexité des semi-conducteurs proposés en entrée de gamme ; cette évolution s'est traduite par un doublement du nombre de transistors tous les ans à coût constant depuis 1950. Cette loi définie de façon empirique s'est révélée exacte entre 1971 et 2001 par l'augmentation de la densité des transistors qui a doublé chaque 1,96 année. Etre présent dans la durée sur de tels marchés nécessite des efforts permanents pour maintenir une excellence technologique. Cette excellence technologique est à la base d'une culture d'entreprise très présente chez STMicroelectronics où la R&D occupe une place centrale. La recherche assure ainsi la mise en œuvre d'une nouvelle technologie (45, 32 nm) tous les deux à trois ans.

La recherche d'excellence économique et la volonté de devenir leader dans son domaine sont à la base des programmes d'amélioration de la majorité des industriels. Or d'après (Treacy & Wiersema 1997), la recherche de performances peut emprunter trois voies pour aboutir à ces objectifs : la supériorité technologique, l'excellence opérationnelle et l'intimité au client. Le niveau de performance au long de ces trois voies dépend du secteur d'activité de l'entreprise, du type de service qu'elle offre et de sa culture. Pour se maintenir de façon durable sur les marchés, elle doit exceller au moins dans l'un des trois aspects, tout en veillant à sa compétitivité dans les deux autres.

Ce travail de thèse s'inscrit dans la recherche de l'excellence opérationnelle dans les industries des semi-conducteurs, visant à l'adaptation des méthodes du génie industriel au contexte des industries à très forte composante technologique.

Classiquement, dans le cadre de l'excellence opérationnelle, on cherche à maîtriser les domaines des coûts, du rendement, du temps de cycle dans le respect de la sécurité, l'environnement et les relations humaines (Duret & Pillet 2005). S'appuyant sur une démarche qualité et l'utilisation de moyens d'analyse de données fiables, les acteurs opérationnels cherchent à adresser quotidiennement deux aspects :

- le contrôle et la réduction continus de la variabilité.
- la gestion, évaluée en termes de risque, des actions à entreprendre.

Cette thèse s'intéresse en particulier au second aspect. Néanmoins, le contrôle et la réduction continue de la variabilité n'ont jamais été négligés puisqu'ils ont servi à quantifier opérationnellement les gains obtenus par la méthodologie proposée. Plus précisément, cette thèse propose une méthode globale de gestion des actions, incluant les actions de maintenance, en liant le contrôle de la variabilité des produits et équipements.

La gestion des risques et des actions associées est historiquement liée dans l'industrie au domaine de la qualité et du contrôle des procédés (Bassetto 2005). Le contrôle des procédés constitue souvent un groupe distinct permettant ainsi une meilleure intégration du processus qualité dans les organisations opérationnelles. Il joue alors un rôle transversal et, s'appuyant sur les outils qualité, d'analyse statistique, de collecte de données, il contribue à la performance des unités de production au travers de programmes liés au contrôle et la réduction de la variabilité et de maîtrise des risques. Le contrôle des procédés agit donc sur

la maîtrise de l'outil de production (fiabilisation des moyens, minimisation des pertes, prévention des dysfonctionnements...) et, par conséquent, au processus d'excellence opérationnelle.

Cette thèse CIFRE a été réalisée en coopération avec les laboratoires G-SCOP-INPG (Grenoble-38) et LCFC-ENSAM Paris Tech (Metz-57), au sein de la société STMicroelectronics (Crolles-38) qui œuvre dans un domaine industriel où la supériorité technologique est vitale. Elle s'intitule « *Vers des méthodes fiables de contrôle des procédés par la maîtrise des risques* » et adresse l'axe de l'excellence opérationnelle dans un contexte d'excellence technologique. L'intimité client, vue ici non comme client final mais comme client en BtoB¹, est également adressée via des supports structurels de l'innovation technologique et de la fiabilisation de l'industrialisation : STMicroelectronics se doit de convaincre ses clients de sa capacité à maîtriser le comportement de ses outils de production, en particulier dans les phases de montée en volume de production.

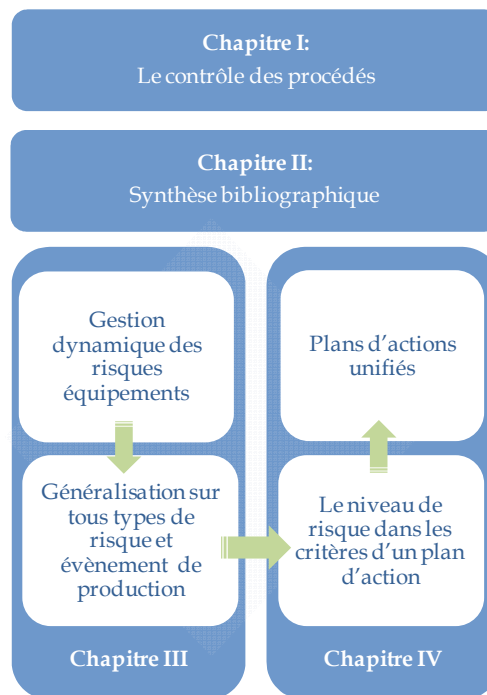
Le contrôle des procédés est appliqué, en autres, aux moyens de production comme les machines, les systèmes de transport, les installations, etc. La maîtrise de ces moyens de production a fait l'objet de maintes études et de beaucoup d'intérêt de la part des industriels car elle influe souvent au premier ordre sur la qualité des produits, le temps de cycle et les coûts donc, par conséquent, sur la rentabilité de l'entreprise. Dans le domaine des semi-conducteurs, comme dans beaucoup d'autres secteurs industriels, plus de 50% les rejets produits sont liés aux machines (ou équipements). De nombreux projets sont mis en œuvre pour réduire cette origine de causes de rejets. En lien avec la réduction et la maîtrise de la variabilité des équipements, on constate que les services d'entretien ont progressivement disparu pour laisser la place à des services de 'maintenance' plus structurés, aux politiques de prévention bien plus développées. Une véritable stratégie d'entreprise s'est mise en place en vue de prévenir les dysfonctionnements, de passer du stade où l'on subit au stade d'anticipation des pannes tout en maximisant la productivité.

La notion d'analyse de risque a fait son apparition en 1949 aux Etats Unies dans le domaine de l'arme nucléaire. Cette méthode a connu un grand succès dans le domaine militaire et a été depuis appliquée dans la majorité des domaines industriels. Le succès de cette méthode est très dépendant du niveau d'intérêt que lui consacrent les acteurs et, surtout, de leur niveau d'expérience. La complexité des outils et processus de fabrication dans certains domaines industriels ne permet pas de couvrir la totalité de risques potentiels possibles.

Dans le cadre de cette thèse, le risque considéré n'est lié ni à la sécurité ni à l'environnement mais il traite des aspects de variabilité des processus de production. La question centrale de cette thèse vient adresser les deux préoccupations citées précédemment : la maîtrise de la variabilité et la gestion en termes de risques des actions. *Comment évaluer et améliorer la performance des moyens et processus de production par le biais d'une analyse de risque qui soit dynamique et intégrée. Comment définir par la suite des plans d'action unifiés et robustes pour maîtriser la variabilité et éviter les non conformités ?*

¹ Business to Business par opposition à Business to Customer

Autour de cette question, ce manuscrit est organisé en quatre chapitres :




Le premier chapitre vient introduire la fonction contrôle des procédés dans l'entreprise et plus particulièrement dans le domaine de semi-conducteurs. Une présentation des moyens de contrôle et de surveillance vient montrer la notion de gestion en temps réel des données des équipements et des produits. Le processus des analyses des risques dans le semi-conducteur est présenté dès le développement d'une nouvelle technologie, sa mise en production jusqu'à son arrêt.

Le second chapitre de cette thèse est une synthèse bibliographique sur des travaux et méthodes en lien avec la proposition développée. Il commence par une présentation des méthodes utilisées pour maîtriser le risque industriel et les domaines d'application. Il aborde l'utilisation du risque dans le service maintenance, les approches qui ont été développées et leurs impacts sur les objectifs de cette fonction. La troisième partie de ce chapitre introduit des travaux sur la gestion des plans d'actions et sur les processus de décisions. La dernière section est une discussion des travaux étudiés qui permet de situer les propositions de la thèse par rapport aux travaux présentés dans les domaines de gestion des risques et des plans d'actions. C'est une démonstration de la problématique du nécessaire dynamisme liée à l'efficacité d'une stratégie de gestion des risques en milieu industriel.

Le troisième chapitre constitue la première proposition de cette thèse. Il commence par développer l'importance des analyses des risques dans un système de maintenance et montre les apports potentiels de telles approches. Une proposition d'amélioration des politiques de maintenance par l'intégration dynamique des analyses de risques et de

l'historique des machines est ébauchée puis comparée à l'approche classique Risk Based Maintenance (Arunraj & Maiti 2007). Un modèle de données et le diagramme de transitions ainsi que les méthodes de calcul des critères d'évaluation du risque sont présentés au travers de l'approche nommée « RBM *Dynamique* » et illustrée au travers d'un exemple de déploiement réalisé sur un des ateliers de production. Une généralisation de cette approche pour l'intégration à tous types d'événements indésirables dans le système de production est présentée dans la dernière section de ce chapitre. Elle montre qu'une prise en compte de non-conformités peut se faire de la même façon que celle réalisée pour les pannes équipements. Une modélisation conjointe des événements et des risques est développée pointant les liens potentiels permettant de simplifier l'intégration du risque dans un processus de décision.

Le dernier chapitre est consacré à la généralisation des concepts introduits dans le chapitre précédent. L'objectif est d'atteindre l'excellence opérationnelle tout en améliorant la relation client, ceci en répondant à la problématique d'unification dynamique des processus de gestion des événements dans une organisation, tout en intégrant la notion de risques encourus, l'historique de ces événements et en fiabilisant les quantifications réalisées par l'expertise humaine. Un modèle d'activités est décrit, intégrant les méthodes classiques de résolution des problèmes (8D) et analyses de risque (FMECA). Les outils développés dans le cadre du traitement de l'information, de l'évaluation automatique des événements sont décrits ainsi que leurs liens aux plans d'actions qui deviennent unifiés. La méthodologie proposée de gestion des plans d'actions intégrant le niveau de risque « Risk Based Actions Priorities RBAP » est enfin revue dans son intégralité. Ce chapitre se termine par une présentation de l'application industrielle et une analyse critique des résultats obtenus.



Chapitre I : Les méthodes de contrôle des procédés & le contexte industriel

I. Introduction :

Ce chapitre présente une introduction du cadre de cette thèse, notamment le domaine de la microélectronique, le contrôle des procédés dans cette industrie et le rôle que jouent les analyses de risques dans ce secteur. La problématique de la thèse est présentée dans le cinquième paragraphe de ce chapitre définissant les besoins de l'industriel, l'apport attendu en termes de méthodologie et de résultats.

II. La microélectronique

Cette section présente quelques éléments de base de technologie de la microélectronique : ces éléments ont servi de cadre à ce travail en y apportant certaines particularités. En effet pour la science du génie industriel, une caractéristique majeure de la microélectronique est que les équipements travaillent de façon quasi systématique en limites de leur capacité ; l'ensemble des processus de production se révèle en conséquence très délicat à maîtriser.

La microélectronique, spécialité du domaine de l'électronique, consiste à la réalisation de composants miniatures et complexes sur un support en général de silicium². A ses débuts, ce domaine industriel avait comme objectif de réduire le volume, la densité d'intégration et le poids des applications par remplacement d'anciennes techniques (Tubes à vide, composants passifs, etc.). Aujourd'hui l'évolution technologique est axée sur l'amélioration des performances, de la densité d'intégration, tout en optimisant les coûts.

1- Les composants semi-conducteurs

Les composants électroniques intégrés comme les transistors, résistances... connectés les uns aux autres sur une même plaque de silicium constituent ce qu'on appelle un circuit intégré (inventé par Jack Kilby³ en 1958). Un circuit intégré est aussi connu sous le nom de **puce** électronique et peut traiter des signaux de deux types: analogique ou numérique.

Un transistor est un composant électronique utilisé généralement pour stabiliser une tension, moduler un signal etc. En microélectronique, le transistor MOS (Metal Oxide Semiconductor) est le plus fréquemment utilisé dans la fabrication des circuits intégrés. Ce transistor peut être de deux types : NMOS et PMOS. Leur assemblage sur un circuit, nommé CMOS, forme un inverseur qui offre une faible consommation d'énergie très utilisé pour des applications associant rapidité et densité d'intégration.

² Le **silicium** est un élément chimique de la famille des cristallogènes, de symbole Si et de numéro atomique 14.

³ Jack St. Clair Kilby, (né le 8 novembre 1923 à Jefferson City, dans l'État du Missouri et mort le 20 juin 2005, à Dallas au Texas), était un ingénieur électricien américain.

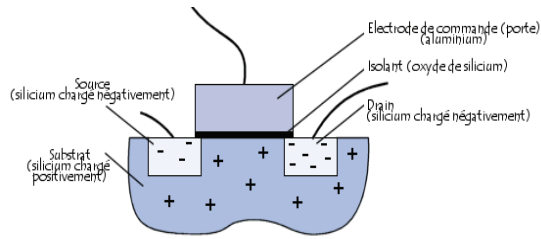


Figure I.2 Transistor NMOS

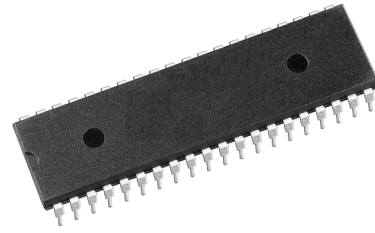


Figure I.1 circuit intégré

La technologie d'une puce est associée à la largeur de grille du transistor le plus fin réalisable. Exemple : La technologie C045, permet de réaliser des puces contenant des transistors avec une largeur de grille de 45 nanomètres ($45 \cdot 10^{-9}$ mètre). Les principales technologies industrialisées ou en cour de développement à STMicroelectronics Crolles sont C120, C110, C090, C065, C045 et C032.

La fabrication d'un circuit intégré est en général réalisée sur des plaquettes de silicium aussi appelée Wafer. La Figure I.3 résume le processus de fabrication.

A partir d'un barreau de silicium (1), on obtient la plaque (2) qui va servir de support à la réalisation des circuits. Au travers d'une série d'opérations de dépôts de film isolants, conducteurs, ou photosensibles (3), d'opération de lithographie (4), de gravure, de dopage, d'isolation (5, 6, 7) et d'interconnexion (8), puis de découpe (9), on crée les composants sur les puces qui vont être ensuite assemblées dans des boîtiers avant d'être intégrés dans les applications. STMicroelectronics développe et fabrique les puces sur des plaquettes de diamètre 200 et 300 mm à crolles.

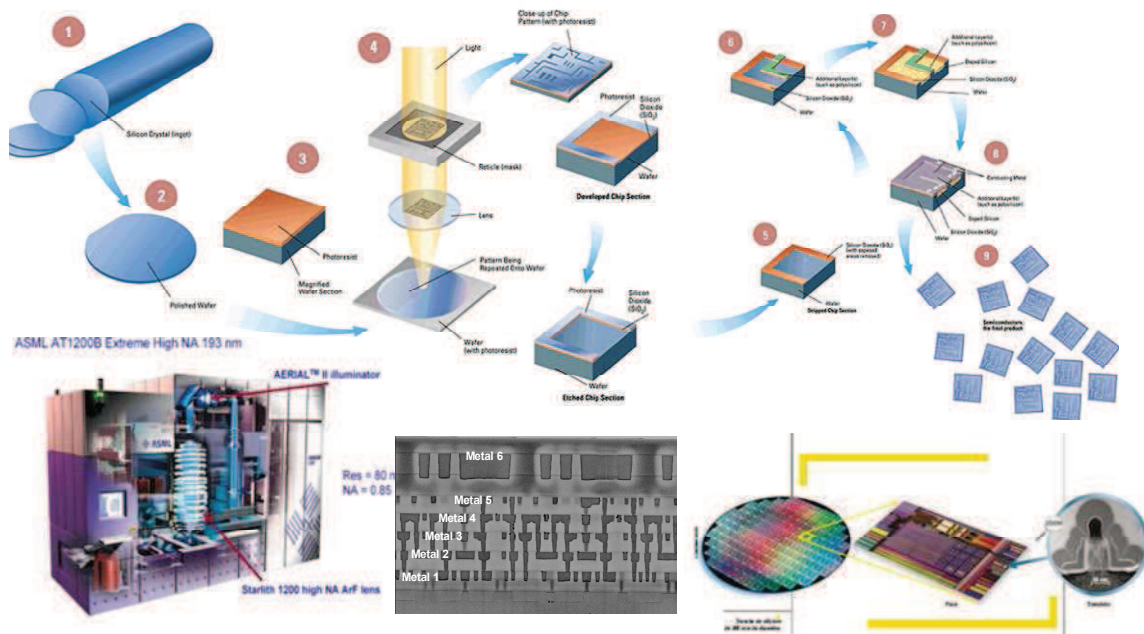


Figure I.3 Processus de fabrication d'une puce

2- Les applications industrielle des composants ST

STMicroelectronics fabrique des circuits intégrés pour de nombreuses applications microélectroniques (Figure I.4). Les parts de marché en pourcentage de ventes pour le 4ème semestre ainsi que les clients clefs de l'année 2008 :

- Télécommunications **38%**: Alcatel-Lucent, Motorola, Nokia, Research in Motion, Siemens, Sony Ericsson,
- Grand Public (consumer) **17%**: Garmin, LG Electronics, Nintendo, Panasonic, Philips, Samsung, Thomson,
- Industriels **17%**: Delta
- Informatique **15%**: Apple, Dell, HP, Seagate et Western Digital,
- Industrie automobile **13%**: Bosch, Conti, Delphi, Mareli, Pioneer, Sirius.



Figure I.4 Produits STMicroelectronics

3- La production de puce dans un environnement "salle blanche"

Les plaques de silicium sont manufacturées dans un atelier connu sous le nom de « *Salle blanche* ». C'est un environnement dans lequel le nombre de particules par m³ est maîtrisé. Cet environnement est indispensable pour fabriquer des puces fonctionnelles avec le niveau de qualité requis des circuits. La maîtrise de nombreux facteurs environnementaux influe sur la qualité d'une salle blanche : la température, l'humidité, la pression, le flux d'air, la tenue du personnel... La norme européenne ISO 14644-1 classe les salles blanches en fonction du nombre de particules par m³. La salle blanche crolles 300 est classée au meilleur niveau (ISO1).

L'organisation de production est répartie en ateliers spécialisés et regroupés par domaine de compétence. Le passage itératif dans chacun des secteurs permet de réaliser les puces. (CEFEM 2001).

- **Traitements Thermiques** : dans cet atelier on réalise deux grands types d'opérations :
 - le dépôt ou la croissance des couches d'oxyde ou poly silicium à température relativement élevée ($>600^{\circ}\text{C}$).
 - Le recuit d'activation de dopants après implantation ou densification de couches déposées.
- **Nettoyage** : La mission de ce secteur est de nettoyer la surface des plaques de toute contamination particulaire ou chimique pouvant affecter le fonctionnement des circuits ou le bon déroulement des étapes suivantes du procédé (Effet d'interface, chimiques, etc.).
- **Photolithographie** : Dans ce secteur, vont être réalisés sur de la résine photosensible et grâce à l'exposition au travers d'un masque, des motifs qui vont servir à délimiter des zones particulières sur la plaque. Lors des opérations de gravure ou d'implantation, les zones avec résine seront protégées.
- **Gravure** : Le rôle de ce secteur est d'enlever de la matière sur les zones non protégées par la résine et/ou avec une grande sélectivité par rapport aux zones protégées.
- **Implantation ionique** : Dans ce secteur, on dope le silicium en bombardant les plaquettes avec un faisceau d'ions. On apporte ainsi en fonction du type de dopants utilisés des électrons (Type N) ou des trous en excès (Type P) qui permettent d'ajuster la conductivité du silicium ou des couches déposées.
- **Diélectrique** : cet atelier a le rôle de déposer des couches diélectriques à la surface de la plaquette participant à l'isolation des différentes couches conductrices entre elles ou protégeant le circuit de l'environnement externe.
- **Métal** : Dans cet atelier, on dépose des couches conductrices à la surface de la plaquette qui permettront de relier électriquement les composants dans la puce. Elles autoriseront une connexion entre puce et boîtier.
- **Polissage (CMP : Chemical Mechanical Polishing)** : dans ce secteur, on planarise par polissage mécano chimique les couches d'oxyde et/ou de métaux déposées afin de réduire la topologie de chaque niveau lors de la fabrication.
- **Mise à épaisseur** : dans cet atelier, un des derniers du processus, on enlève de la matière en face arrière de la plaquette afin de pouvoir intégrer la puce à son futur boîtier.
- **Test paramétriques & EWS** : c'est dans ces deux secteurs que l'on réalise les mesures électriques sur les plaquettes avant mise en boîtier (Test paramétrique) et livraison au client (EWS).

Une plaquette passe en moyenne huit semaines en salle blanche et subit une centaine d'opérations pour obtenir un produit fini. Le parc machine est divisé en trois catégories : équipement de procédé, équipement de mesure et système de transport automatisé. Une plaquette suit une 'route'⁴ (Gamme de fabrication) constituée d'opérations réalisées grâce à des recettes sur des équipements de procédés. Des étapes de mesure contrôlent les opérations selon un échantillonnage de plaquettes qui permet d'évaluer la qualité des

⁴ Suite des opérations passées sur des équipements de procédé

opérations effectuées. Les plaques sont transportées d'une opération à l'autre manuellement sur des chariots ou par le système de transport automatisé.

Lors de la production des puces en salle blanche, les différentes organisations opérationnelles doivent travailler de concert afin d'obtenir des résultats optimaux. Dans ce cadre de recherche de synergie et d'efficacité, la mise en place d'un système de contrôle des procédés est un facteur clef. La durée de vie très courte des produits microélectroniques rend encore plus stratégique le besoin d'un contrôle dynamique des procédés.

III. Introduction au contrôle des procédés (Process control)

1- Contexte général du contrôle des procédés

Les opérationnels au quotidien doivent contrôler et réduire la variabilité, ils doivent aussi gérer leurs actions en y incluant une dimension liée au risque. Pour cela, ils utilisent des outils statistiques et méthodologiques permettant d'améliorer de façon continue la qualité des produits et des processus.

Un système de contrôle des procédés efficace au niveau industriel ou recherche et développement est un facteur clef d'amélioration dans les domaines suivants :

- temps de cycle d'apprentissage à la production en volume,
- coûts de développement et de production en volume,
- rendement de fabrication et sur produits finis,
- sécurité et environnemental

Un tel système, mis en place de façon cohérente et opérationnelle participe à la gestion des actions d'améliorations du produit et des processus au sein des organisations et, par conséquence, permet d'optimiser la synergie et l'efficacité de ces dernières.

Lorsque l'on s'intéresse au sujet de la mise en place d'un système de **contrôle des procédés**, on trouve deux domaines dans lesquels sont puisés les méthodes et outils opérationnels:

- le domaine de la **Qualité** (lié aux aspects méthodes)
- le Domaine de **la statistique** (lié aux aspects outils d'analyse et de quantification)

Il est cependant à noter qu'à l'aire de l'informatique et pour une approche moderne du contrôle des procédés, il est primordial d'y ajouter un troisième domaine clef :

- **le Domaine des données** (relatifs aux aspects d'accessibilité et d'infrastructure informatique)

Ce domaine, bien souvent, restreint à lui seul les possibilités de déploiement de **solutions de contrôle opérationnelles** qui, par conséquence, devront être choisies en tenant compte de cet aspect limitant.

2- Cartographie du process control ST Crolles

La Figure I.5 décrit le synoptique global du système de contrôle des procédés à Crolles.

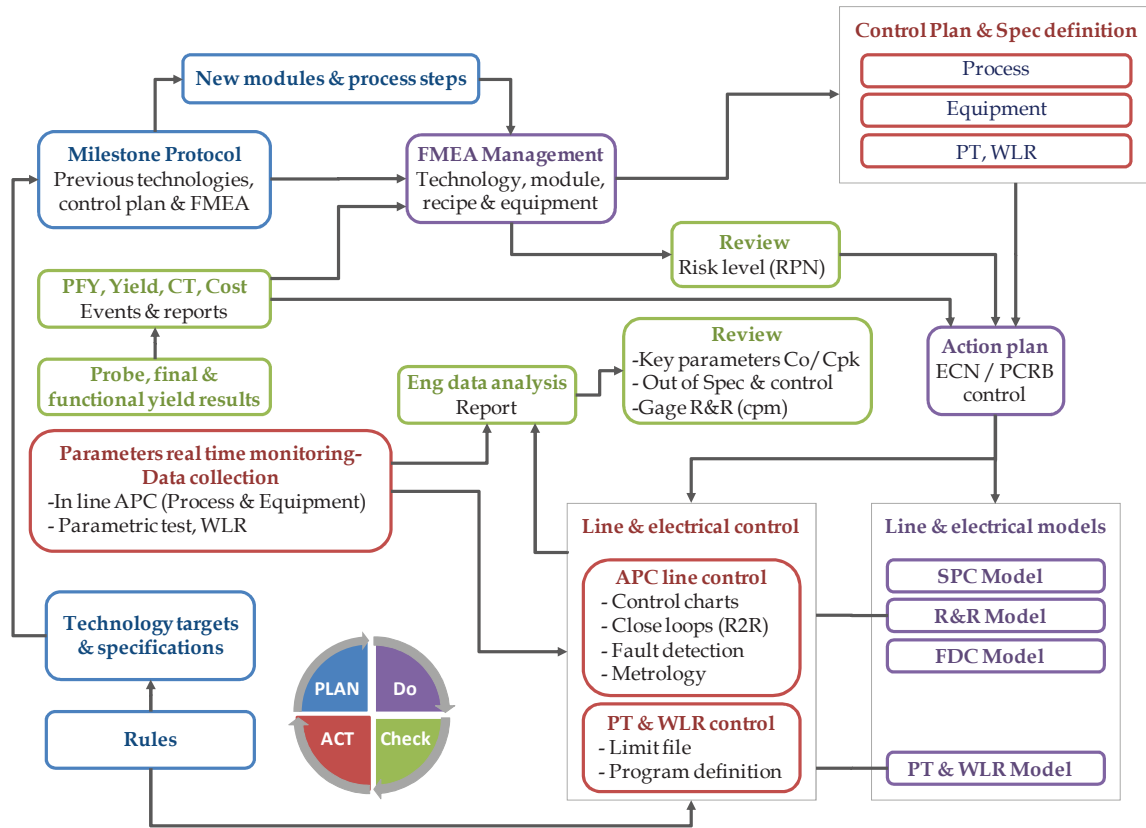


Figure I.5 Synoptique du Process Control (Hubac 2007)

Lors de l'introduction d'une nouvelle technologie, à partir de spécifications client et de règles de design (Technologie target et Rules), un protocole de développement est initié (Milestone protocol) et de nouveaux modules et procédés éventuellement développés (New modules). La base existante des FMECA (pour les Technologies déjà en production) est utilisée et complétée afin de définir le plan de contrôle et les axes de développement en fonction du niveau de risque évalué (RPN). Un comité d'expert valide les plans d'action proposés et autorise leur évaluation dans la ligne de production par l'équipe R&D. Les modèles adéquats sont ensuite introduits dans les systèmes de contrôle au niveau mesure physiques en ligne (SPC, R&R, FDC Annexe 1) et électriques (PT, EWS). Les développements sont réalisés et contrôlés de façon continue par des outils en ligne de fabrication (APC line control), test électrique (PT) et fiabilité (WLR). Les résultats des mesures sont stockés (Data collection), analysés (Eng data analysis, Probe, PFY, Yield, CT, Cost) et évalués au regard d'indicateurs statistiques (Review). En fonction des résultats obtenus, le cycle est poursuivi. On remarque que le processus introduisant une nouvelle technologie est parfaitement intégré au sein du système qui permet d'améliorer les technologies déjà matures.

On constate donc que l'analyse des risques, dans l'industrie du semi-conducteur, est un élément méthodologique essentiel du processus de contrôle car il est un moyen de prévention et d'estimation des dérives. Il participe à l'amélioration des performances en termes de coûts, rendement et temps de cycle. C'est pourquoi le process control veille à la

bonne application de cette approche et suit l'évolution du niveau de risque avec des indicateurs pour chaque technologie, module, recette et équipement.

IV. Les analyses de risques chez ST

1- Pourquoi les Analyses des Risques

Une des premières exigences en termes d'analyses des risques est celle des clients. L'industriel est dans l'obligation de fournir une étude des risques pour une technologie donnée avant de commencer à la produire. Ce document est analysé par des auditeurs mandatés par le client et, c'est en conséquence, qu'ils appréhendent le niveau de maîtrise que l'entreprise a de la technologie. Il en estime le niveau de garantie en termes de fiabilité et de capacité à fabriquer des produits de qualité en complément d'indicateurs comme le Cp, Cpk...

Pourquoi fait-on une analyse des risques ? Les éléments de réponse à cette question peuvent être classés en fonction du domaine où l'on souhaite appliquer cette méthodologie :

- *Outil de production* : malgré les analyses FDC et les plans de maintenance qui permettent de sécuriser les machines, le zéro défaut n'existe pas et la probabilité d'une panne reste toujours le résultat de plusieurs facteurs comme l'état des machines, le produit fabriqué, l'environnement... Les analyses des risques dans ce cadre fournissent une vision sur le comportement probable d'une machine, les causes potentielles des défaillances et permettent ainsi de définir des actions ou de faire évoluer les plans de maintenance préventive existants.
- *Produit* : le SPC, les tests PT et EWS sont des moyens de contrôle et d'assurance de la qualité des produits, ce qui n'élimine néanmoins pas totalement le risque de non-conformité ou de SCRAP de plaquettes. Des brèches existent toujours dans ces systèmes de contrôle et de surveillance et il est nécessaire de prévenir les causes de ces dérives en y apportant les actions correctives appropriées. C'est le rôle des analyses des risques produits, éditées dans un premier temps au stade du développement de la technologie, pour sécuriser la qualité tout au long du cycle de production.
- *Recette* : Dans cette catégorie, le risque est fonction de deux paramètres : l'équipement et le produit. Une dérive du processus de production peut être le résultat d'une dérive équipement, produit ou les deux simultanément. Cette dépendance rend difficile l'identification de la source de défaillance. Un autre cas possible, qui requiert une analyse plus approfondie, est celui du fonctionnement toléré d'un équipement qui impacte le produit ou inversement. Une analyse de ces risques permet de pointer ces problèmes et de les prévenir si nécessaire.

Du point de vue production en salle blanche, ces trois axes sont particulièrement étudiés par STMicroelectronics. Dans le cadre de cette thèse, on s'intéresse en premier lieu aux

analyses des risques équipement, source première de détracteurs de la performance, puis ensuite aux analyses des risques produits et processus.

2- Comment sont-elles intégrées ?

Comme présenté dans le synoptique du process contrôle, le suivi des analyses des risques est réalisé en deux principales étapes : la mise en place d'une nouvelle technologie, la mise à jour et revue des analyses existantes. Les FMECA produit ou 'Technologie' elles sont initiées par les ingénieurs R&D et mises à jour par les supports process. Une fois la technologie passée au stade de production, les FMECA recettes et équipements sont maintenues respectivement par les ingénieurs process et maintenance. Dans la synoptique du process control ST crolles, elles interviennent à deux stades :

- Etape **Do** : par la mise en place des analyses des risques par technologie, recette et équipement. Cette étape est déclenchée par la création d'une nouvelle technologie ou l'amélioration d'étapes de la gamme de fabrication pour des technologies matures.
- Etape **Check** : par la mise à jour et la vérification du niveau de risque. Lors du PCRB, une vérification de la prise en compte et de la mise à jour du risque par le demandeur de la modification est réalisée. Toute requête sera rejetée si cette étape a été négligée ou les risques insuffisamment considérés.

Un suivi du niveau de risque par indicateurs (Bassetto 2005) des performances des équipes en termes de gestion des actions liées à un risque élevé ($RPN \geq 125$ selon la grille STMicroelectronics), est mis en place.

3- Constat du déploiement

Un audit interne sur l'évolution des risques en termes du nombre de risques analysés en moyenne, nombre de risques critiques détectés et risques mis à jour, montre une stabilisation de ces chiffres ou une légère augmentation. Seules les FMECA techno sont mises à jour de façon régulière lors de la phase développement.

Pour les FMECA équipement et process, elles ne sont pas revues régulièrement, mises au second plan sous motif de priorités opérationnelles et du manque de disponibilité des ingénieurs. Il est à noter également que la nature de cette méthodologie qui nécessite du temps et des ressources, est à l'origine d'un succès mitigé chez les opérationnels.

L'absence de réutilisation des connaissances stockées dans la base FMECA rend l'analyse des risques obsolètes et, au bout d'un certain temps, perd sa valeur ajoutée.

En résumé de cet audit, trois axes sont à investiguer pour améliorer l'usage des analyses de risques et permettre de s'y référer en vue d'améliorer les stratégies de prévention :

- la dynamique d'identification et de mise à jour des risques,
- la structuration simplifiée et cohérente des analyses des risques,
- la réutilisation plus performante de l'expérience contenue dans les FMECA.

V. Problématique de la thèse

Constatant que les soucis des entreprises et de l'encadrement opérationnel tournent toujours autour des mêmes sujets en production ou recherche et développement - les coûts, le rendement, le temps de cycle, la sécurité, l'environnement et les relations humaines - il est étonnant de découvrir un aspect cyclique lié à l'engouement ou la résistance (voire le rejet) des ingénieurs, de l'encadrement opérationnel, à utiliser des méthodes Qualités et des outils Statistiques supposés les soutenir dans leur démarche d'amélioration. Même si tous les ouvrages de qualité après W. Edouards Deming (Chardonnet & Thibaudon 2003) recommandent un engagement sans faille du management dans la démarche qualité, force est de constater que cette injonction est souvent mal intégrée sur le terrain. Ainsi, dans un contexte industriel concurrentiel de plus en plus délicat, couplé à un contexte écologique et environnemental qui sensibilise aux méfaits du gaspillage, il est important d'optimiser l'utilisation des ressources. Plusieurs réflexions et questionnements viennent alors à l'esprit visant à saisir la raison de cette apparente incohérence. Les questionnements sont en particulier de trois ordres : les crises seraient-elles seules à même de rendre les outils qualité populaires ? Quel est le rôle de l'injonction du client ? Enfin, quelle place pour les outils informatiques d'accès aux données ?

Une première interrogation porte donc sur le fait que *les méthodes* prônées par les systèmes Qualité, documentées dans d'excellents ouvrages [par exemple (Duret & Pillet 2005), (Crepin & Robin 2001),...] ont démontré leur efficacité opérationnelle dans de nombreux cas (Six SIGMA chez Motorola, Lean Manufacturing chez Toyota, etc.). Elles sont pourtant souvent délaissées par des organisations entières, pour être, quelque temps plus tard, considérées comme seule voie de « salut » lorsqu'une crise subvient. Pourquoi les organisations, se sentant « au bord du gouffre », ont-elles alors recours à ces méthodes comme « médecine miracle ».

En second lieu, la difficulté pour les « opérationnels » consiste à faire *le lien au quotidien entre les méthodes et les outils* Qualité et Statistiques. Les services qualité et les statisticiens, mis à part en temps de crise, sont souvent considérés respectivement comme « non opérationnels » ou « théoriciens ». Pourquoi cette obligation quasi systématique de faire apparaître l'injonction du « client » pour faire utiliser (souvent sous la contrainte), des méthodes et outils ayant démontré leur efficacité par ailleurs ?

Enfin, en dernier lieu, à l'ère de l'informatique et alors qu'il semble évident que *l'accès aux données* est un élément clef, seul espoir d'extraire les sources de variabilité et résoudre de façon factuelle les problèmes. Pourquoi est-il si difficile sur le terrain de convaincre de l'importance des programmes améliorant l'accès à ces mêmes données ?

En constatant que les deux seules notions qui intéressent un opérationnel au quotidien pour améliorer les coûts, le rendement, le temps de cycle, la sécurité, l'environnement et les relations humaines sont :

- le contrôle et la réduction continue de la **variabilité**.
- la gestion en termes de **risque** des actions entreprises.

On mesure l'importance de l'intégration de la gestion des risques dans le processus méthodologique de l'entreprise. Gardant à l'esprit les constats précédents, cette thèse sur la gestion des risques devra apporter des points d'améliorations aux problèmes soulevés.

Dans le cas particulier du processus de fabrication de l'industrie du semi-conducteur, les opérationnels sont confrontés dans leur quotidien aux dérives et dysfonctionnements des moyens ou processus de production. Les dérives équipements étant le premier détracteur en termes de coûts, rendement et temps de cycle, cette thèse aborde cet aspect de façon prioritaire.

1- Analyse des risques liés aux dérives équipements

La gestion des événements (pannes ou dérives) est une des principales priorités des opérationnels. C'est un maillon très sensible dans la chaîne du processus de production car les coûts de mobilisation des équipements sont élevés (entre 200 et 400 \$ de l'heure). Les analyses de rejets montrent que les équipements en sont la première cause (Figure I.6) et que la variabilité des rejets n'est pas contrôlée (Figure I.7).

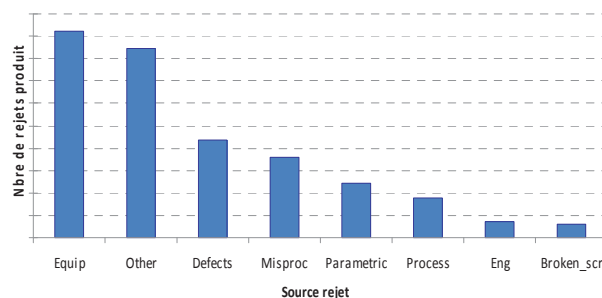


Figure I.6 Nombre de SCRAP classés par source

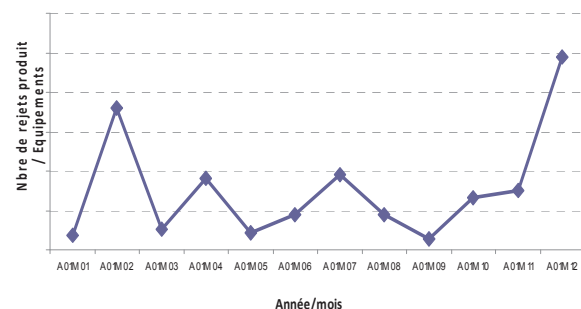


Figure I.7 Nombre de SCRAP dus aux pannes sur une année

Les priorités des interventions sont déterminées en fonction de l'impact des pannes sur le temps d'arrêt des machines. Cette gestion est justifiée par le fait que chaque arrêt est une cause potentielle de rejets ou au moins d'une baisse de rendement du produit (pour des plaquettes dont le coût varie entre 4000 et 6000 \$). Privilégier les tâches correctives permet de résoudre les problèmes et limiter les pertes mais ne permet pas d'éliminer définitivement les causes potentielles et de minimiser les risques de prochaines défaillances. Dans ce contexte, notre étude vise à améliorer l'aspect préventif des interventions de maintenance en

réutilisant les connaissances liées aux pannes. La première question qui se pose est : *Comment améliorer la performance des équipements en proposant un outil d'aide à la décision pour les ingénieurs maintenance ?* L'objectif est alors d'étudier les facteurs de dépendance des recettes et de la qualité du produit vis-à-vis des équipements et de proposer ainsi des priorités pour les actions à mettre en place. Il ne s'agit pas seulement d'améliorer la disponibilité et la fiabilité des équipements mais, également, de minimiser *tout risque* lié à une défaillance ou un mauvais fonctionnement de l'outil.

Les dérives équipements sont gérées dans le cadre de plans d'actions. Suivant le secteur où a été détecté le rejet (chez le client, au test électrique, en cour de process, ...), un plan d'action différent (8D, FMECA, Maintenance,...) est initié. On constate alors une difficulté à unifier ces plans entre les secteurs.

2- La gestion des plans d'actions

L'étude réalisée en début de thèse a montré que les Scraps, les non conformités et les retours clients sont traités par un processus 8D. Les analyses préventives sont établies suivant la méthodologie FMECA alimentés en parallèle par les actions préventives du processus 8D (Bassetto 2005). Les pannes équipements sont gérées dans le cadre du processus de maintenance corrective. La Figure I.8 illustre cette diversité.

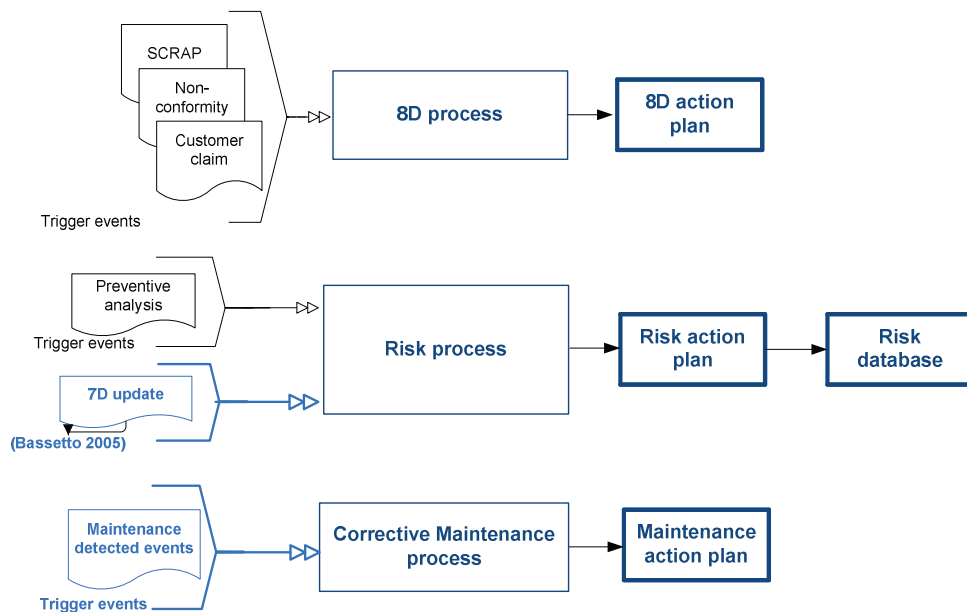


Figure I.8 Gestion actuelle des plans d'actions chez STMicroelectronics

On constate que dans chaque type de plan d'actions les degrés de priorité et le type d'action sont souvent incohérents ce qui participe à une certaine confusion entre les secteurs dans le cadre de la résolution de problèmes opérationnels. La question qui se pose est alors :

Comment améliorer la performance des équipements en proposant un processus de gestion unifié des plans d'actions ?

Pour prendre en compte les besoins de STMicroelectronics de mise en place de méthodologie améliorant la synergie et l'efficacité opérationnelle, cette thèse propose une approche permettant l'intégration du risque dans un seul et unique processus de décision pour tous les secteurs. La finalité est de supporter tous les opérationnels, quel que soit leur secteur, pour gérer leurs activités en incluant la notion de risque de manière *optimale et unifiée*. Améliorer la méthode de gestion des risques et offrir un outil d'aide à la décision pour gérer les priorités des actions permet de pointer les sources potentielles des problèmes. La gestion des plans d'actions résultants doit permettre d'optimiser le rendement, le temps de cycle et minimiser les coûts. Notre proposition doit donc répondre au questionnement : *Comment associer risques, évènements et expertise humaine pour obtenir un processus unifié de gestion des plans d'actions ?*

Avec une vision de contrôle des processus intégrée et dynamique, cette thèse a pour ambition de développer une démarche que chaque opérationnel puisse s'approprier dans son quotidien. Focalisée sur les objectifs de l'entreprise elle doit intégrer les outils qualité et les données opérationnelles. L'idée d'un plan d'action unifié permettra d'aligner les objectifs et d'agir avec une stratégie cohérente.

VI. Conclusion :

Ce premier chapitre présente le contexte opérationnel et les attentes au niveau industriel et académique. Partant du constat que les opérationnels ont besoin au quotidien d'outils simples et efficaces pour contrôler, réduire la variabilité et gérer leurs actions en terme de risques, l'objet de cette thèse est de proposer des *solutions de gestion des risques opérationnels* et *des méthodologies* de travail qui soient génériques et applicables dans d'autres secteurs industriels. Le chapitre suivant permettra de situer cette problématique par rapport aux travaux déjà réalisés sur la gestion des risques, leur intégration dans le système de maintenance et la gestion des plans d'actions. Les propositions de cette thèse, dans les chapitres III et IV, montrent les apports en termes de gestion de maintenance et de risques opérationnels et proposent une approche dynamique d'amélioration continue des plans d'actions par la maîtrise du risque.



Chapitre II : Apport d'analyse de risque en maintenance par unification des plans d'action

I. Introduction :

Ce chapitre présente une synthèse bibliographique des travaux de recherche et des applications industrielles autour de la problématique de la thèse. Il vise à situer le présent travail de recherche au regard des travaux antérieurs et montrer les axes potentiels d'apports scientifiques et industriels. Les principaux domaines abordés sont : les analyses de risques, la maintenance basée sur la notion de risques « RBM » et les méthodes & procédures de gestion des problèmes.

La première partie de ce chapitre est une introduction aux notions de risques et aux approches utilisées pour les prévenir. Une étude sur les domaines industriels, où cette approche est déployée, est fournie ainsi qu'une discussion sur les apports des analyses des risques et les contraintes de déploiement. La seconde partie de cette synthèse bibliographique traite des travaux réalisés sur l'approche RBM. Par la suite, une présentation des approches et méthodes qualité vient introduire le constat de divergence dans les outils de résolution des problèmes. Cette dernière section du chapitre présente les points qui seront abordés au chapitre IV et positionne ce travail par rapports aux études précédentes.

II. Les analyses des risques :

L'analyse des risques est un processus complexe qui intègre un large panel de disciplines des sciences fondamentales ou humaines (physique, sociologie, économie, engineering...). C'est un processus composé de trois parties essentielles : l'analyse du risque (1), son évaluation (2) et sa gestion (3). (Duffus 2001) représente une vision globale de ce processus.

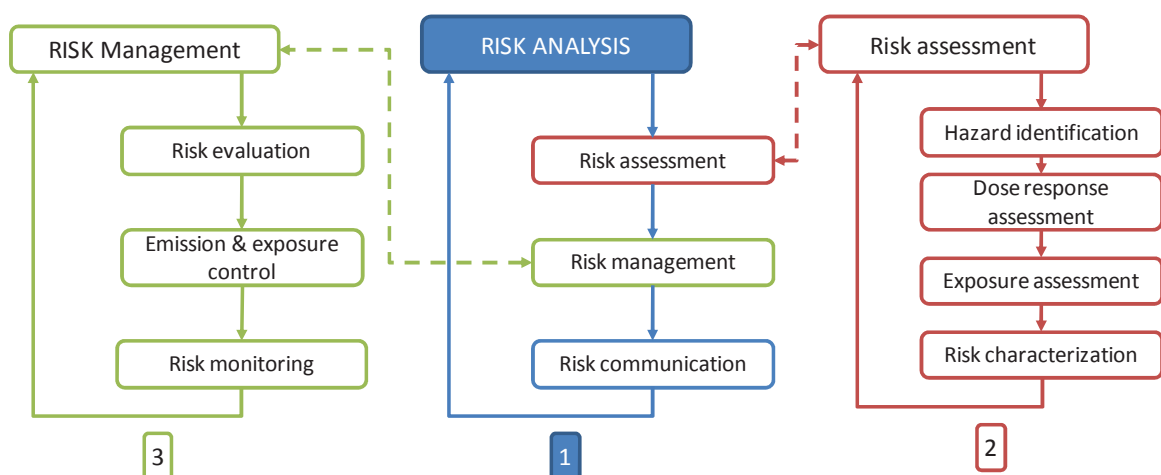


Figure II.1 Risk analysis process (Duffus 2001)

1- Quelques définitions :

Risque : la notion de risque est associée à la crainte du danger. Un risque est le résultat d'une exposition potentielle à un phénomène dangereux, qu'il soit de l'ordre de la sécurité des personnes, des biens, ou des services. Le terme de risque désigne aussi bien la cause d'un événement (redouté ou recherché) que sa conséquence éventuelle (Sienou 2009). Les grands axes ou domaines où la notion de risque est abordée :

- *Risque santé* : c'est le risque qui concerne la sécurité des personnes et leur santé. Le risque sanitaire fait partie de cette catégorie.
- *Risque financier* : il y a risque s'il y a possibilité d'écart entre la valeur anticipée d'une grandeur et sa valeur réalisée. C'est la possibilité d'être déficitaire ou d'être dans l'impossibilité de faire face par exemple, à des remboursements d'emprunts (Charreaux 2006).
- *Risque environnemental* : connu sous le nom ERA⁵. Il porte principalement sur l'évaluation des incertitudes afin de garantir la fiabilité d'un large éventail de conditions environnementales. Il inclut l'utilisation des ressources naturelles (à la fois en termes de quantité et de qualité), la préservation de l'environnement et des considérations de santé publique. (Ganoulis & Simpson 2006)
- *Risque industriel ou risque technologique* : il représente les défaillances potentielles qui peuvent avoir un impact sur le produit, les moyens ou les processus de conception et de production.

Cette thèse s'intéresse au risque industriel, en particulier aux événements potentiels qui peuvent être à l'origine d'une perte de rendement, de temps de cycle ou de coûts. La différence entre une défaillance et un risque se situe dans la réalité des faits. Une défaillance ou un problème c'est un *événement déjà passé et détecté* dont on subit les conséquences. Le risque n'est qu'une anticipation, une probabilité d'apparition du phénomène. Dans le cadre général, on parle de risques naturels, risques liés à l'environnement et comment les prévenir. Il est d'usage de caractériser chaque risque à l'aide de trois critères : sévérité, occurrence et détection.

Sévérité (S) : valeur associée à l'effet le plus grave d'un dysfonctionnement. C'est une cotation relative à l'impact (produit, processus ou équipement).

Occurrence (O) : valeur correspondant à la fréquence de la défaillance.

Détection (D) : capacité de détection du mode de défaillance.

L'estimation de ces trois critères doit être définie dans le cadre de grilles de cotation avec une échelle qui varie habituellement entre 1 et 10. Il n'y a pas un standard qui définit la taille des grilles mais généralement elles varient de 1 à 5 ou de 1 à 10. La seconde échelle est recommandée car elle offre plus de précision et simplifie l'interprétation des effets (Stamatis 2003). Dans cette thèse on utilise les grilles de cotations (Annexe 2) recommandées par l'automobile et adaptées au milieu des semi-conducteurs par STMicroelectronics. Ces grilles,

⁵ Environmental Risk Analysis

comme précisé dans le manuel de référence FMEA (Chrysler LLC et al. 2008), sont sur une échelle de 1 à 10.

RPN : Risk Priority Number, c'est le produit $S \cdot O \cdot D$. Il représente l'indice de priorité du risque et le critère décisif pour réaliser des actions. Dans le milieu des semi-conducteurs le seuil de déclenchement est imposé à 125 par les clients les plus exigeants.

Ce seuil a fait l'objet de divers questionnements sur la méthode de calcul et la pertinence de l'évaluation du risque, sachant que pour plusieurs combinaisons de valeurs différentes de S, O et D on obtient le même RPN. (Narayanagounder & Gurusami 2009) ont présenté une nouvelle méthode de calcul du niveau de risque : RPC (Risk Priority Code). Cette méthode permet d'optimiser le calcul des priorités des modes de défaillance si deux des critères S, O ou D sont identiques.

Dans cette thèse, on utilise le critère classique de la méthodologie FMECA : RPN. Etant utilisé par tous les sites de STMicroelectronics dans le monde, ce critère a été appliqué sur l'ensemble des propositions de ce travail de recherche.

Criticité : on qualifie une défaillance de critique si, jugée à travers plusieurs critères, elle nous apparaît inacceptable. La notion d'acceptabilité est une notion relative. Elle n'a un sens que dans un contexte donné.

AMDE - FMEA : Analyse des Modes de Défaillances et de leurs Effets. Une méthode d'analyse de la fiabilité des systèmes. Elle est composée des relations entre les défaillances et leurs effets. Elle intègre l'analyse FMA : Failure Mode Analysis qui est basée en général sur l'historique des informations comme la garantie, les services fournies et les données de process (Omdahl 1988).

AMDEC - FMECA : une des méthodes de fiabilité générale et utilisable dans tous les domaines. C'est une méthode systématique qui propose d'anticiper les problèmes plutôt que de subir leurs conséquences.

Le Tableau II-1 montre la structure générale d'une analyse de risques. L'AMDE est incluse dans l'analyse AMDEC. Une première partie consiste à identifier le risque et à le coter. La seconde consiste à définir les modifications et actions nécessaires pour baisser le niveau de risque s'il dépasse le seuil de déclenchement. La partie (3) évalue la tendance du risque après les modifications, ce qui permet de décider ainsi de les clôturer, les modifier ou d'en ajouter d'autres.

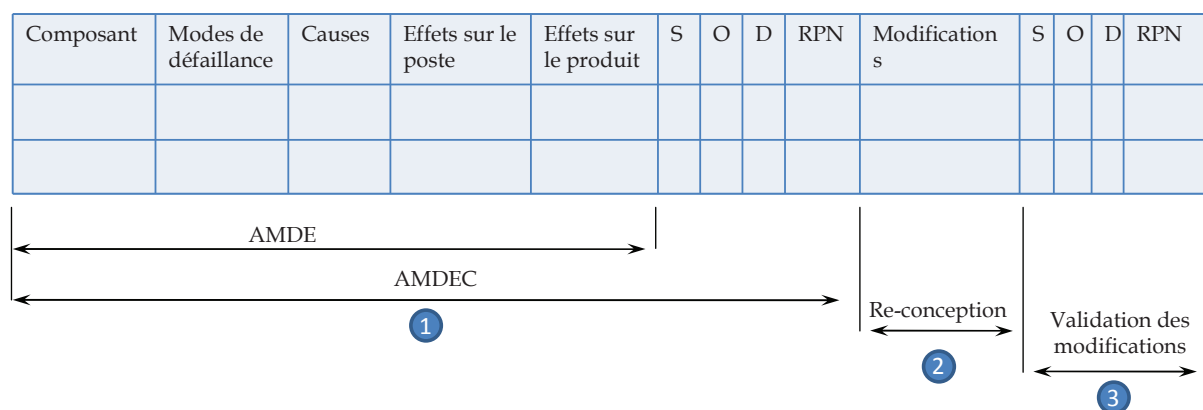


Tableau II-1 Grilles AMDE – AMDEC (Faucher 2004)

2- Processus de gestion des risques :

La gestion des risques industriels a toujours été basée sur l'expertise humaine. La volonté de maîtriser les défaillances et leurs sources justifie l'intérêt des industriels pour cette méthode. Gérer les risques revient à les étudier, définir les possibilités ou probabilités d'apparition et définir les actions nécessaires pour limiter les effets sur les systèmes. Réaliser une AMDEC pour un système ou une machine revient à décomposer en parties fonctionnelles et étudier pour chacune les possibilités de défaillances. Réaliser une analyse de risque n'est pas synonyme d'éliminer complètement toute possibilité de panne ou de dysfonctionnement : il s'agit de minimiser le niveau de risque en étudiant en priorité les risques les plus dangereux ou critiques.

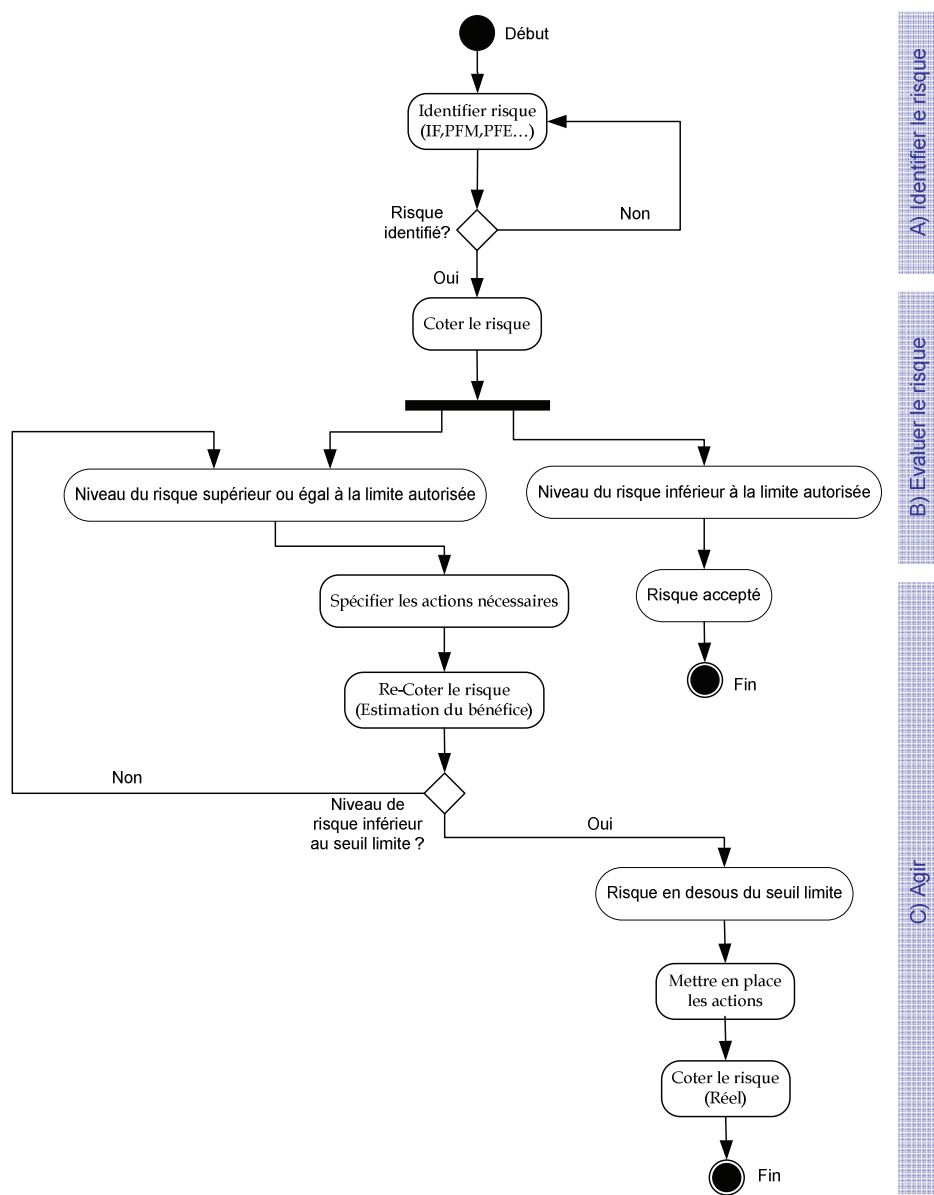


Figure II.2 Flow gestion des risques

Comme présenté Figure II.2, l'étude d'un risque doit suivre trois étapes consécutives :

- a) *Identifier le risque* : Cette première étape représente la base de la méthode. Elle consiste pour un composant donné à présenter la nature du risque par la description du mode de défaillance, ses causes, l'effet attendu et ceci pour chaque partie du système.
- b) *Evaluer le risque* : Il s'agit d'associer au risque une valeur numérique pour quantifier son importance. Trois critères sont évalués : la détection, l'occurrence et la sévérité. Ces trois valeurs doivent être déterminées selon des grilles standard. L'importance du risque et son degré de gravité sont alors définis par le résultat du produit de ces trois valeurs ; le plus souvent il s'agit du produit des trois valeurs. Ce produit est alors appelé RPN (Risk Priority Number). Suivant les pratiques, un autre indicateur d'agrégation peut néanmoins être choisi. Les actions requises pour remédier au risque peuvent alors être identifiées sur la base de cet indicateur quantitatif.
- c) *Agir* : Une fois identifiés et évalués, les risques doivent être classés en fonction de leurs criticités. Un risque est classé critique s'il dépasse le seuil maximum autorisé. Ce seuil est généralement défini par la valeur maxi du RPN qui représente le seuil limite à partir duquel il faut impérativement définir des actions correctives et préventives. Ces actions doivent être spécifiées avec un responsable, une date limite de réalisation et un objectif en termes de résultats (diminution du niveau du risque). Un risque correctement identifié et évalué ne signifie pas qu'il n'existe plus. Il faut que les actions soient accomplies et le niveau de risque recalculé sur la base des résultats obtenus afin de s'assurer que l'anomalie a disparue sur le système.

3- Pourquoi les AMDEC – ou analyses de risque ?

(Stamatis 2003) présente les analyses FMECA comme une méthode pour maximiser la satisfaction des clients en réduisant et/ou éliminant les problèmes potentiels. Il définit quatre déclencheurs potentiels d'une analyse de risques :

- la conception d'un nouveau produit, processus, service ou concept.
- le changement d'un produit, processus, service ou concept existant.
- le développement d'une nouvelle application pour un produit, processus, service ou concept existant.
- des améliorations à apporter pour un produit, processus, service ou concept existant.

Dans ces travaux, il est montré que l'étude des risques ne doit pas être limitée et freinée par le manque d'information sur le système étudié et doit démarrer le plutôt possible : *Do the best you can with what you have*.

La méthode AMDEC, utilisée initialement pour des applications militaires (DOD 1980), a été largement déployée à d'autres domaines industriels. Cette méthode, basée sur l'analyse fonctionnelle des procédés et processus, vise à prévenir les risques et maximiser les gains en temps, coûts et qualité.

Montrant son efficacité dans l'optimisation de la fiabilité des machines, elle a été adoptée dans la majorité des domaines industriels comme l'aéronautique, l'industrie agro-alimentaire, l'automobile...

Depuis 1994, année de l'apparition de la première édition de la norme QS 9000, l'AMDEC est une des exigences spécifiques pour adresser le secteur automobile. L'intégration de cette méthode d'analyse et gestion de risque dans un système de management de la qualité s'inscrit dans le cadre d'une transparence totale envers le client en termes de gestion et procédures. Dans le domaine du semi-conducteur, par exemple, toutes les FMECA concernant les modules technologiques des produits fabriqués sont fournies au client. Avec cette base de données sur les risques liés au produit, le client peut vérifier si les risques pouvant affecter la qualité requise ont été traités, si des actions préventives ont été mises en place et en assurer le suivi. Le client peut également vérifier si des défaillances déjà constatées ont été traitées. Cette base reflète ainsi le niveau de maîtrise de la qualité par l'industriel auquel le client confie sa production.

Etablir une analyse FMECA est un travail qui demande du temps. Une équipe hétérogène au niveau expertise, une rigueur dans l'identification et l'évaluation des risques est nécessaire. Cette approche, certes coûteuse pour l'industriel, est un support de l'amélioration continue, un système qui reflète l'état du système de production (Chrysler LLC et al. 2008). Les bénéfices de analyses des risques dans le processus de décision ont été mis en évidence par Mazur dès 1985 (Mazur 1985).

4- Les méthodes d'analyse des risques :

La gestion des risques industriels a été largement abordée dans la littérature et de nombreuses méthodes ont été proposées (Tixier et al. 2002). Le développement continu des technologies et la complexité des processus industriels sont à l'origine des évolutions des méthodes d'analyse de risques qui traitent aussi bien des aspects organisationnels que techniques.

On peut classer les méthodes d'analyse de risques en deux principaux groupes : déterministe et probabiliste (Tixier et al. 2002), (Stamatis 2003). Ces groupes se caractérisent selon le moyen d'identification des risques. Une méthode est dite déterministe si elle tient compte les données produits, équipement ou processus et identifie précisément les conséquences. Les méthodes probabilistes sont basées sur la probabilité et l'occurrence potentielle du risque (Niehaus 2001) (Kirchsteiger 1999).

Parmi les méthodologies les plus couramment utilisées pour les analyses des risques :

HAZOP⁶: a vu le jour dans les années soixante dans le domaine de la chimie. C'est une technique qualitative conçue par (Kletz 1997). Plusieurs études ont été proposées pour améliorer cette méthodologie comme l'utilisation d'une base de données pour consolider les

⁶ HAZard and OPerability

décisions des experts et alléger leur charge de travail (Khan & Abbasi 1997). D'autres études plus récentes ont cherché à automatiser des parties de HAZOP et proposer des modèles mathématiques en vue d'améliorer l'évaluation des risques (Labovsky et al. 2007).

QRA⁷ : comme l'indique son nom, cette méthode est quantitative et elle est structurée en quatre phases : identification du risque, estimation des conséquences, calcul de probabilité et quantification du risque (Khan et al. 2002).

FMECA : approche qualitative, présentée dans la section précédente qui a eu un large succès dans le monde industriel avec des applications diverses.

ORA⁸ : approche proposée par Khan et Abbasi en 1995 (Khan & Abbasi 1995). Elle vise à identifier le risque et les accidents probables dans le domaine de la chimie. Les mêmes auteurs, (Khan & Abbasi 2001), proposent par la suite des études pour améliorer leur approche et montrent son applicabilité au monde industriel.

Dans leur étude, Tixier et al (Tixier et al. 2002), présentent une revue de plus de soixante méthodes d'analyse de risques qu'ils ont classées en quantitative ou qualitative. La majorité des études sont appliquées au domaine industriel et utilisent des méthodes connus comme les FMECA, HAZOP, QRA... Ils montrent la difficulté à maîtriser totalement les risques dans une entreprise et la nécessité d'utiliser des méthodes différentes pour couvrir l'ensemble des risques. Ils concluent au besoin d'une approche méthodologique structurée en quatre phases :

- the source term (industrial establishment);
- the flux (vector of propagation of accidents);
- targets (human, environmental and equipments);
- control and management.

Cette structure permet une conjonction entre les aspects déterministes et probabilistes et simplifie le processus de décision pour les industriels.

5- Typologie des risques industriels :

On peut classer les risques en fonction de leurs origines et leur niveau d'impact industriel. La typologie des risques rentre dans la partie « Management des risques », elle permet une transparence dans la classification des risques et une simplification de leur réutilisation.

Bassetto (Bassetto 2005), a établi dans sa thèse une typologie des risques dans le domaine du semi-conducteur. Il montre les conséquences sur le contrôle des risques d'une technologie en

⁷ Quantitative Risk Assessment

⁸ Optimal Risk Assessment

production de masse. Il précise également l'intérêt de procéder par cascade entre les types de risques pour contrôler la production.

Stamatis (Stamatis 2003) présente une typologie plus générique qui classe les risques selon quatre volets :

- les risques système : les modes de défaillance potentiels liés aux fonctions des composants du système,
- les risques design : définis pour sécuriser la conception des produits et leur passage en production. Ils intègrent les contraintes de design et fabrication,
- les risques process : ce sont les risques liés à l'efficacité du processus de production et des moyens utilisés,
- les risques service : ils permettent de garantir la qualité du service fourni au client.

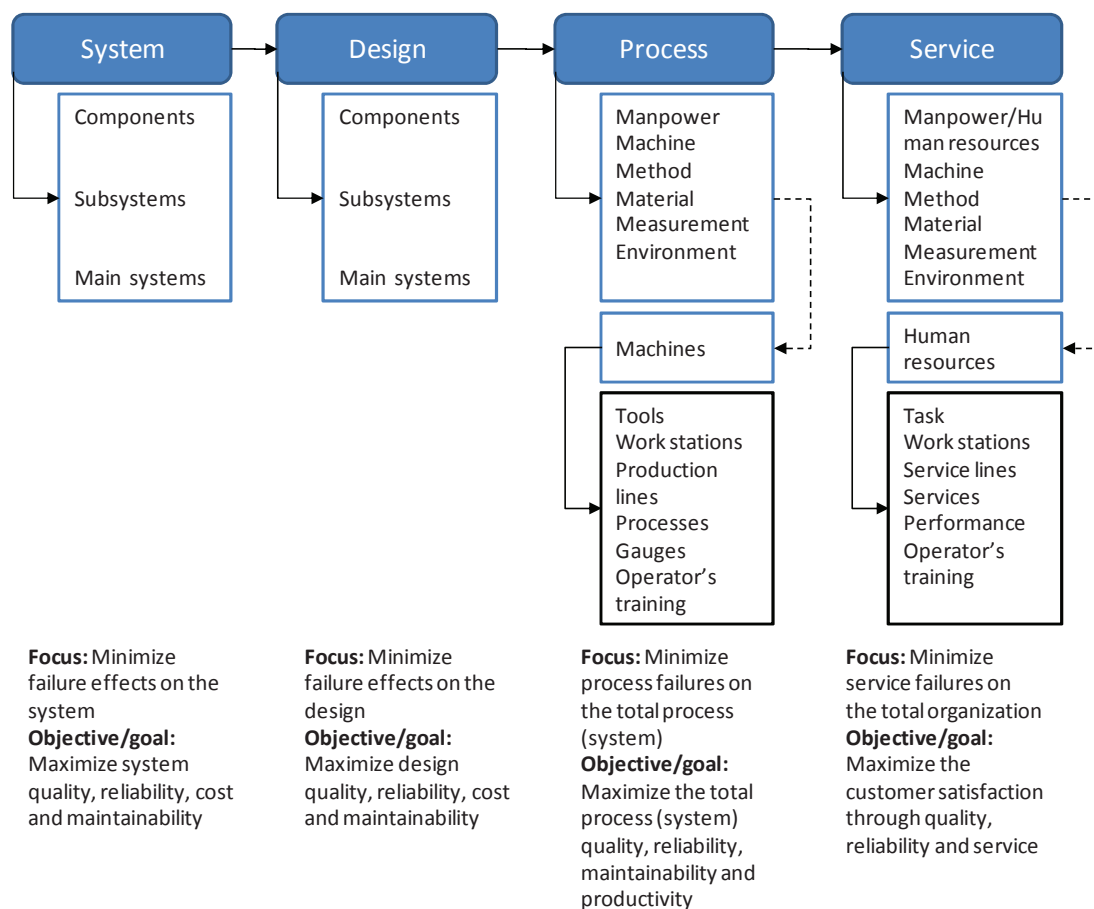


Figure II.3 FMECA Typologies (Stamatis 2003)

Les risques étudiés dans cette thèse sont de types 'Process' et 'Service'. On s'intéresse dans un premier temps aux risques équipements pour traiter les aspects fiabilité et disponibilité des moyens de production. Ensuite, on intègre les risques liés aux défaillances opérationnelles et au produit dans un but d'améliorer les processus de décision des actions en les unifiant.

6- Synthèse: Les analyses des risques entre avantages et inconvénients :

Le rôle incontournable des analyses des risques dans la prévention des événements indésirables est démontré par le simple fait de leur large utilisation par des industries de haute technologie (nucléaire, aéronautique, nanotechnologie...). Cependant, ces approches basées en grande partie sur des ressources humaines, sont qualifiées de lourdes, difficiles à entretenir et de processus, bénéfique mais long.

Pour illustrer les apports des analyses de risque et leurs inconvénients, on présente dans le Tableau IV-1 une synthèse de résumés de travaux sur les analyses des risques des certains domaines industriels.

	Domaine	Avantages	Inconvénients
Analyses des risques	Nucléaire (Knoll 1996) (Niehaus 2001) (He et al. 2007)	- Performant si utilisation dès la phase de conception - Base de données sur les connaissances - Outil de base pour la construction de la maintenance et son optimisation - synthèse des points critiques pour la conception	- Manque de liens entre les sources de défaillances - Lourdeur de gestion pour des systèmes complexes - groupe de travail : temps & ressources
	Semiconducteur (DePinto 1997) (Whitcomb & Rioux 1994) (Zafra-Cabeza et al. 2008)	- Permet une mise en place des contrôles nécessaires - Pointer les processus ou moyens potentiellement défaillants - Minimiser le taux de scrap - Consolider la confiance des clients	- Processus complexe à analyser - Quantification des résultats qui sont généralement à long terme - Liens pas toujours évidents avec SPC et plan de contrôle
	Automotive (Price & Taylor 2002)	- Une analyse d'un nombre important de combinaisons de pannes - Une analyse plus performante des systèmes électriques	- Génération des résultats de pannes non automatisées - Pas de lien entre les cotations de pannes dépendantes

Tableau II-2 Analyses des risques : exemples d'avantages et d'inconvénients

Cette synthèse pointe les apports de cette approche en termes de méthode de travail, gains opérationnels et sécurité des moyens et ressources. Cependant elle identifie des inconvénients majeurs, pour l'implémentation, le suivi et le maintien des analyses des risques qui sont principalement :

- la difficulté d'identifier les risques dans un système complexe,
- le temps important nécessaire pour réaliser une étude,
- le champ d'étude non-limité (pas de spécification du périmètre d'investigation),
- le langage non-unifié des documents, ce qui rend difficiles les tâches d'exploitation et de mise à jour,
- l'absence de liens entre causes dépendantes.

Dans ce contexte, cette thèse vise à apporter des éléments de réponses aux questionnements des opérationnels et des solutions pour alléger et optimiser l'utilisation de ces approches. En premier lieu, les axes *(a)* et *(b)* sont traités en vue de simplifier la phase d'étude (identification des risques) en utilisant l'historique des événements et en intégrant de façon automatique des risques jugés critiques. Dans une deuxième partie, il est proposé d'unifier la gestion de tous les risques d'une entreprise en se basant sur les typologies associées. Une intégration de ces analyses dans le processus de décision des actions est ensuite proposée pour répondre à l'axe *(c)* et améliorer l'exploitation des connaissances *(d)*.

III. Les analyses des risques dans un processus de maintenance

Cette section du chapitre développe l'aspect intégration des risques dans le système de gestion des actions de maintenance. Une revue d'études réalisée à ce sujet est présentée avec une analyse des points d'amélioration potentiels de cette méthodologie.

1- Bref aperçu sur l'évolution de la fonction maintenance

Les études dans le domaine de gestion des équipements et leur fiabilité sont nombreuses et variées (Gertsbakh 2002) (Duarte et al. 2006). Diverses politiques ont été développées pour minimiser le taux de panne, baisser le niveau de risque et améliorer la disponibilité des machines.

La norme européenne NF EN 13306 (AFNOR 2001) définit la maintenance en tant que l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

Cette fonction connue dans ses débuts par le caractère correctif, a évolué depuis vers des systèmes de contrôle, de prévention et de supervision. Dans ce cadre, les politiques de maintenance, généralement connues par des aspects de fiabilité et de disponibilité, visent à optimiser le fonctionnement des machines de production en minimisant le risque de panne. L'objectif principal est de répondre aux objectifs de production et ne pas impacter le planning (Kaabi 2004) (Mili et al. 2006).

Des approches diverses ont été proposées pour améliorer le fonctionnement des systèmes de maintenance (Higgins and Mobley, 2001). Les principales fonctions objectives étudiées sont : la minimisation des coûts, l'amélioration de la disponibilité. Les coûts indirects de maintenance sont équivalents, en Europe, de 4% à 8% du chiffre d'affaires; c'est sensiblement la même chose pour les coûts directs (Iung & Marquez 2006).

Avec l'évolution des technologies, le développement des moyens de communication avec et sans fil, la maintenance à distance ou 'e-maintenance' (Levrat et al. 2008) est parmi les avancées technologiques récentes en terme de contrôle et de maîtrise à distance. (Iung & Marquez 2006) montrent que ce type de maintenance permet au moins d'identifier la cause racine ou « root cause » des pannes, réduire les pannes des systèmes de production, éliminer les coûts élevées des maintenances correctives et améliorer la qualité et la productivité.

2- Les risques et la maintenance : Risk Based Maintenance

Risque et maintenance : deux termes qui se croisent sur l'objectif et dont l'existence de l'un est déclencheur de l'autre. L'objectif de la maintenance préventive est d'éliminer le risque mais s'il n'y a pas de risque la maintenance n'a pas lieu d'être.

Les théories de fiabilité, les politiques de maintenance préventive, sont présentées dans un cadre d'optimisation des coûts des actions correctives et préventives. La majorité de ces approches sont focalisées sur la performance des équipements par une réduction de l'occurrence des pannes et l'optimisation des fréquences de maintenance. Le risque de panne n'est pas une notion courante dans la définition des plannings.

La notion de maîtrise des risques est apparue dans un cadre de performance industrielle, de gain de confiance vis-à-vis du client et de contrôle des capacités de production. Dans le domaine de la maintenance, la méthodologie RFM (Risk Focused Maintenance) a été proposée pour définir les priorités des actions en accord avec le niveau de risque (Tomic 1993).

(Cassanelli et al. 2006) appliquent les analyses des risques lors de l'étape de conception d'un moteur électrique proposant un processus de gestion des actions correctives (au niveau design) basé sur les analyses des événements par les FMECA. Ils considèrent la précision dans la définition des risques comme le facteur majeur de réussite des FMECA. Une méthode de maintien et de mise à jour de la base des risques est proposée. Il est pointé que les analyses des risques doivent suivre l'évolution du produit et de l'équipement.

(Herrou & Elghorba 2005) présentent un cas d'étude d'un système compresseur pour lequel on applique la méthode FMECA pour minimiser les coûts indirects de maintenance, en focalisant sur l'identification des facteurs mineurs qui ont un impact majeur sur le système (principe du Pareto). Ils procèdent par cascade pour identifier les causes potentielles au plus bas niveau du système (décomposition fonctionnelle). Un cas d'application dans une PME est présenté en montrant l'apport d'une telle approche pour définir les besoins en termes de disponibilité des équipements et, ainsi, aiguiller vers une amélioration de la politique de maintenance.

(Redmill 2002) présente les analyses de risques comme un processus subjectif, insistant sur le fait qu'un bon déroulement des étapes de ce processus (identification, analyse et évaluation) est essentiel au succès de l'approche. Selon ses travaux, les analyses de risques sont un support à la décision fortement dépendante de l'expertise humaine : *"there are many techniques for hazard identification, and all depend on human observation, judgment and creativity"*.

Les approches RFM considèrent les risques comme une des parties du processus de décision pour la maintenance (Darling 1996). D'autres approches comme RBM (Risk Based Maintenance) considèrent le risque comme critère central dans le processus de décision. (Khan & Haddara 2003) décrivent une méthode pour l'amélioration des plannings de maintenance et leur mise à jour en se basant sur le niveau de risque. Ils développent trois modules : estimation du risque, évaluation du risque et modification des plans de maintenance. Le premier module consiste à développer des scénarios potentiels de

défaillance, leurs conséquences sur le système et d'estimer par la suite les risques associés. Le second module permet d'évaluer les critères du risque par les experts et définir si des actions sont nécessaires ou non. Le dernier module est basé sur le résultat des deux précédents pour revoir les plannings de maintenance. Un exemple d'optimisation de plans de maintenance d'un système HAVAC (Heating, ventilation and air-conditioning) a été présenté montrant l'intérêt de cette approche. Mais dans cette étude l'aspect événements indésirables (pannes) n'a pas été pris en compte. Seuls les plans de maintenance sont mis à jour, les risques identifiés ne sont pas suivis par la suite. L'obsolescence des risques encourus induit alors l'obsolescence des plans de maintenance.

(Arunraj & Maiti 2007) ont réalisé une synthèse de la méthode RBM. Ils présentent les différentes étapes de la méthode et expliquent les inconvénients (Figure II.4). Tous les modules de cette approche sont développés en montrant les facteurs pouvant impacter la qualité des analyses de risques.

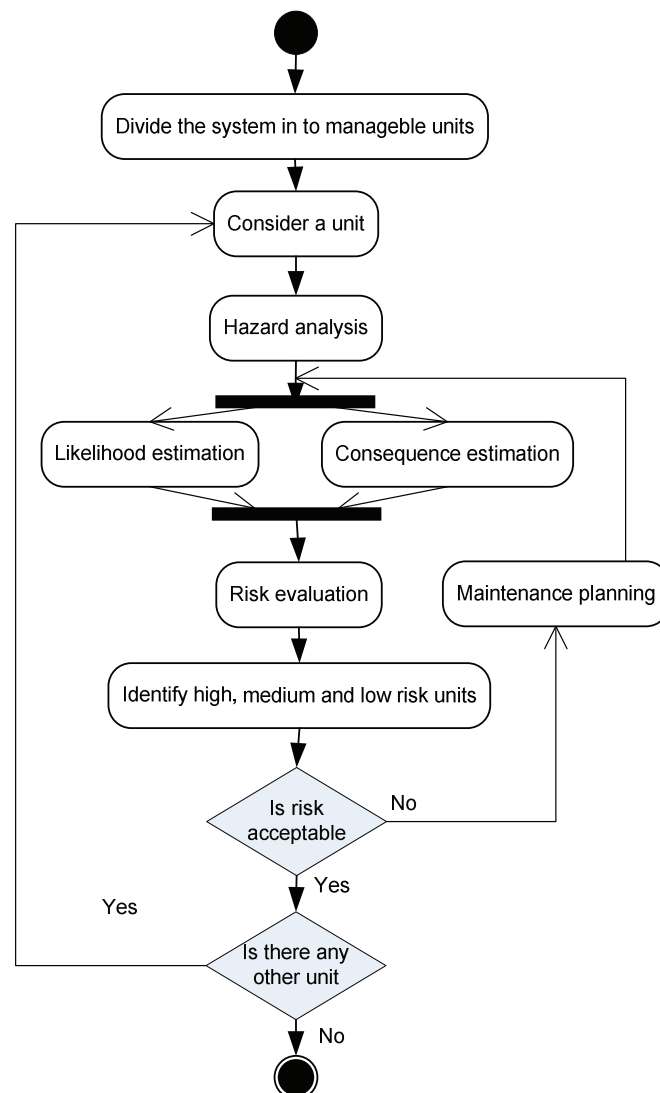


Figure II.4 RBM: General risk-based maintenance approach (Arunraj and Maiti, 2007)

3- RBM : domaines et quelques cas d'application

(Fujiyama et al. 2004) développent une étude quantitative de RBM pour les systèmes de turbines à vapeur. Ils proposent une formulation statistique des probabilités de défaillance et une estimation des risques basée sur les arbres de défaillances. Ils intègrent l'inspection pour améliorer les fonctions de fiabilité. Deux exemples d'optimisation des plannings de maintenance sont présentés montrant l'apport de l'approche en termes de minimisation des occurrences des événements indésirables et d'optimisation des coûts de maintenance. Dans cette étude, la schématisation des perspectives proposées (Figure II.5) montre le besoin d'améliorer et de généraliser cette approche pour qu'elle soit basée sur l'engineering.

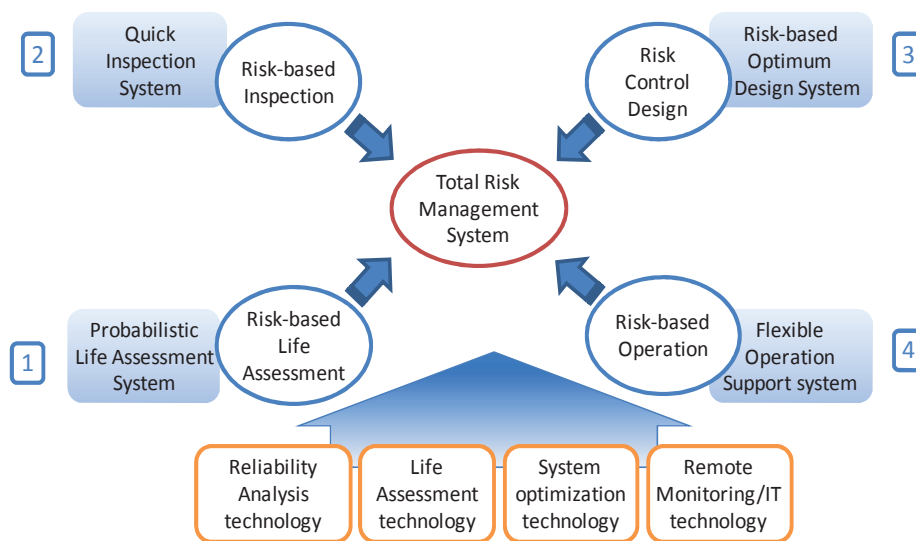


Figure II.5 Application concept for risk based engineering (Fujiyama et al. 2004)

Cette présentation d'un concept générique montre le besoin d'une complémentarité entre les différents facteurs impactant le risque : les analyses statistiques (1), l'inspection (2), le design (3) et les opérations (4). Mais dans ce concept, l'aspect gestion des données et la qualité d'information ne sont pas présentés. Le retour d'expérience et la capitalisation des données ne sont pas également associés à ces facteurs. *L'intégration d'un axe relatif aux données d'évènements opérationnels pourra améliorer l'estimation des risques et leur évaluation de façon dynamique.*

Dans le même domaine de génération de l'énergie, (Krishnasamy et al. 2005) développent une application industrielle dans l'entreprise canadienne 'Holyrood power generation'. Les auteurs montrent l'intérêt de la RBM dans la minimisation des risques liés aux défaillances équipements. Ils soulignent dans leur étude l'impact positif de telles approches sur les coûts et sur les politiques de maintenance.

Dans l'industrie de la pétrochimie, (Hu et al. 2009) développent une approche améliorée RBM par l'utilisation du modèle PAR⁹. Ils montrent que dans la majorité des études utilisant la RBM, l'imperfection des actions dans les plans de maintenance n'est pas prise en compte. Ils proposent par la suite une planification de la maintenance 'imparfaite' plus fréquente que les autres maintenances.

4- Synthèse : constat et améliorations possibles

(Arunraj & Maiti 2007) identifient, sur la base de vingt cinq études réalisée sur la RBM, trois facteurs principaux qui peuvent agir sur le déroulement de cette approche. Ils montrent que pour ces trois facteurs, les origines de la défaillance sont presque toutes identiques :

- *Facteur 1 : **identification du risque*** et analyse initiale des conséquences. Ce facteur dépend de la qualité des données utilisées lors de cette phase de l'approche et de la difficulté de retrouver les informations adéquates.
- *Facteur 2 : **estimation du risque***. Pour cette étape, ils soulignent trois détracteurs majeurs : (1) la méthode employée pour calculer le risque, (2) l'identification de la fréquence (une par semaine, par mois...), (3) l'estimation des conséquences relatives à chaque cotation (avec identification des actions nécessaires).
- *Facteur 3 : les **impacts identifiés** des risques ne sont pas mesurés de manière précise que ce soit sous l'aspect qualitatif ou quantitatif.*

Ces résultats pointent le besoin d'améliorer la qualité des analyses des risques. La qualité des informations recueillies et utilisées, la fréquence de mise à jour et l'estimation du risque sont le plus souvent à revoir... La qualité des données est l'un des points de départ de cette approche. L'accès à ces données doit être simplifié et accessible par tous les acteurs de la méthodologie (Tummala & Mak 2001). Il s'agit d'intégrer les données 'potentiellement' influentes sur l'estimation et l'évaluation du risque dès le début de l'analyse.

Les approches développées dans ce contexte d'optimisation des politiques de maintenance, par la prise en compte du niveau de risque, utilisent les méthodes classiques d'analyse des risques. Qu'il s'agisse de RBM, RFM ou autre, toutes ces approches utilisent un risque '*estimé et évalué par les experts*' pour le prendre en compte par la suite dans le processus de décision. L'aspect analyse fonctionnelle a été également abordé pour appuyer la décision des experts. Mais dans certains domaines industriels, où les moyens de production sont dotés de systèmes de haute technologie, une décomposition fonctionnelle détaillée des équipements requiert un investissement important de la part de l'entreprise et une forte mobilisation des experts.

On constate également que, dans la majorité des études, la réutilisation des données de maintenance et des rapports des experts n'a pas été clairement formulée. Ignorer cette

⁹ Proportional Age Reduction (Shin et al. 1996)

réutilisation peut être un détracteur des facteurs cités par (Arunraj & Maiti 2007) sur la qualité des analyses de l'identification à l'évaluation *précise*.

Comment un risque peut-il évoluer ? Voilà une question sur laquelle on ne trouve pas de réponse détaillée dans cette revue de littérature. Les approches classiques RBM montrent le suivi des plans et actions de maintenance suite à un risque détecté et jugé critique. Mais ce risque, à l'origine de l'action, n'est pas suivi, ni mis à jour et on ne dispose pas d'une tendance de son évolution avant et après l'action.

Sur ces questionnements, sur les aspects identification & estimation robustes des risques et sur l'aspect dynamique du suivi du niveau de risque et son évolution, le *chapitre III* vient introduire une proposition d'amélioration de l'approche Risk Based Maintenance appelée **RBMdynamique**.

IV. Les méthodes de gestion des problèmes 'qualité'

1- PDCA, une dynamique d'amélioration continue

L'amélioration continue et la recherche de solutions adéquates sont parmi les supports majeurs du système qualité (ISO 9000-2005). Ces supports s'inscrivent dans le cadre d'un outil très simple et très connu : la cybernétique PDCA (Plan Do Check Act). Introduite au départ par Deming¹⁰ en 1950 comme *la dynamique de l'amélioration continue*, en se basant sur le principe des études statistiques dans le cycle de Shewhart¹¹, elle a été retenue par les japonais sous le nom **PDCA** de Deming (Chardonnet & Thibaudon 2003).

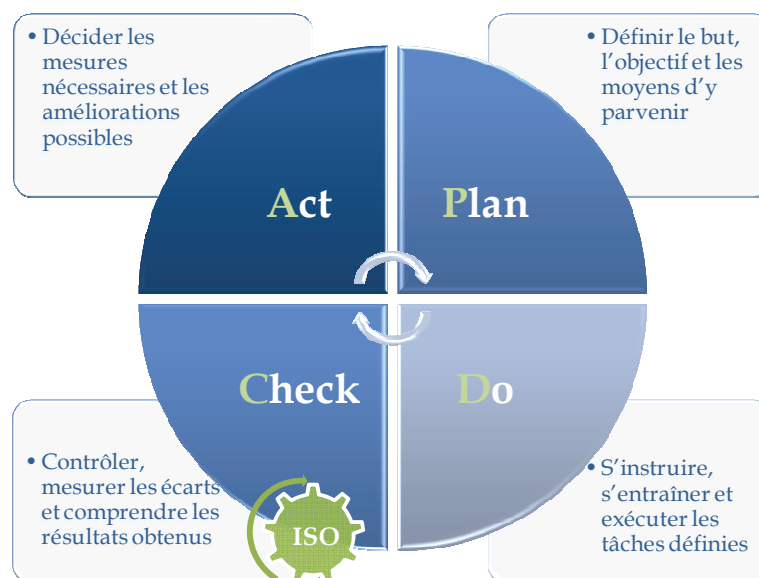


Figure II.6 Roue de qualité – PDCA (Chardonnet & Thibaudon 2003)

¹⁰ William Edward Deming : qualitatif américain né en 1900 et décédé en 1993. Docteur en sciences de l'Université de Yale en 1928.

¹¹ Walter Andrew Shewhart : physicien, ingénieur et statisticien né en 1891 et décédé en 1967. Docteur en physique de l'Université de Californie en 1917.

Comme le montre la structure du cycle PDCA (Figure II.6), le contrôle des résultats permet d'évaluer ce qui a été mis en place comme plans d'actions et de mesurer les écarts entre objectifs et réalisations. Dans le cas de non-atteinte des objectifs, un autre plan doit être établi et de nouveaux objectifs fixés également.

L'ISO 9000 (ISO 2005) a porté le développement de ce cycle et son implémentation dans les industries au rang d'une norme internationale. La satisfaction du client est un point central dans ce qu'on appelle *les processus orientés clients*. PDCA est le moteur d'innovation dans une entreprise au niveau managérial, technique ou organisationnel. Cette roue est supportée de manière continue par l'ISO. Ce standard qualité est un acteur permanent de la continuité de ce cycle et non pas une simple cale qui permet de bloquer le retour en sens inverse (comme présenté dans plusieurs études). C'est pourquoi on l'a présenté en Figure II.6 sous forme d'une roue à cliquet qui fait avancer le cycle tout en bloquant tout retour en arrière.

La gestion des événements dans un système de production et la définition des plans d'actions s'inscrivent dans cette *dynamique d'amélioration continue*. Les quatre étapes du cycle PDCA sont un moyen simple, efficace pour montrer comment développer un plan d'actions, l'implémenter, l'évaluer et l'améliorer si nécessaire. Les japonais, qui ont été les premiers à adopter l'approche de Deming sur une large échelle, ont montré l'intérêt de cette approche et l'ont largement déployée «*Nous commençons par améliorer ce que nous savons faire, mais pas encore suffisamment bien, ensuite nous innovons, mais pas l'inverse*».

2- Le risque dans un cycle PDCA

L'amélioration continue, la prévention d'événements indésirables sont des objectifs communs entre la dynamique PDCA et les analyses des risques. La structure de cette dernière, comme présenté dans la première section de ce chapitre¹², montre des similitudes dans les étapes avec les quatre phases du PDCA. Les trois étapes de l'analyse du risque (Identifier le risque, Evaluer le risque, Agir) correspondent respectivement aux quatre premières phases du PDCA (Check & Plan, Act, Do). Une fois le risque traité (des actions ont été mises en place), sa réévaluation permet de décider s'il est désormais acceptable ou il est nécessaire de développer d'autres actions. Cette dernière étape montre une similitude structurelle avec PDCA en termes d'amélioration continue.

Cette similitude est analysée dans les travaux de (Chardonnet & Thibaudon 2003) qui présentent l'analyse du risque avec les dimensions PDCA. Ils s'appuient sur le principe d'amélioration continue pour montrer les liens entre PDCA et analyse de risques. L'analyse du pourquoi et du comment en intégrant la notion de retour d'expérience permet en effet de prévenir et de minimiser les risques.

¹² II. Les analyses des risques

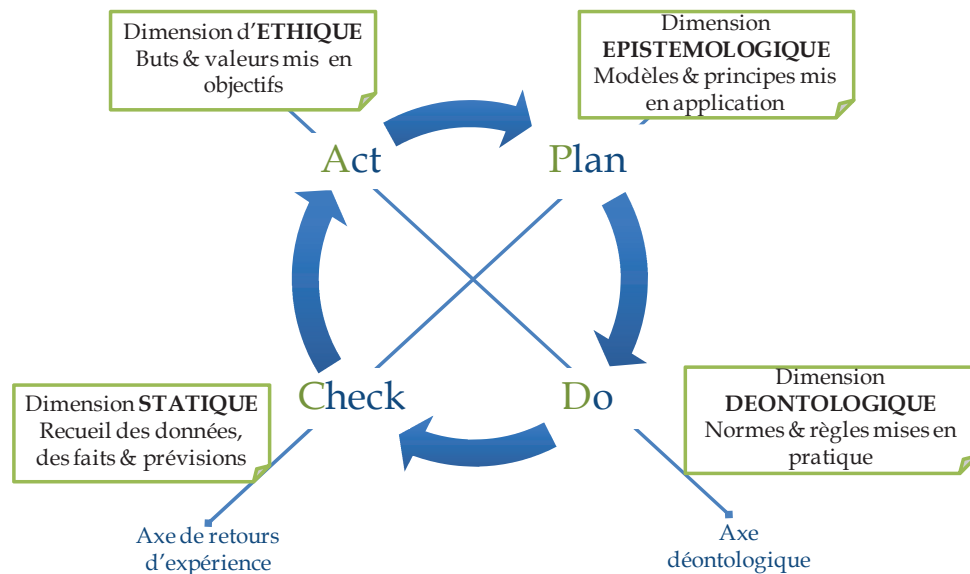


Figure II.7 Dimensions PDCA dans l'approche du risque (Chardonnet & Thibaudon 2003)

La modélisation proposée (Figure II.7) représente quatre dimensions complémentaires sous deux axes : retours d'expérience et déontologie :

- Dimension 1 : *Statique*¹³ ; associée à la gestion et collecte des données.
- Dimension 2 : *Ethique*¹⁴ ; associée à la définition des objectifs et finalités recherchées.
- Dimension 3 : *Epistémologique*¹⁵ ; associée à la spécification des modèles et des moyens de mises en application.
- Dimension 4 : *Déontologique*¹⁶ ; associée à la mise en place des actions, règles et la pratique des définitions.

Avec cette représentation, les auteurs montrent quel lien peut être réalisé entre deux domaines distincts : la sociologie et la technique. « On constate actuellement une rupture entre les ingénieurs qui pensent *YAKA* et les psychosociologues qui disent *ils sont comme ça* »

Dans un processus de décision, en termes de risques, cette étude pointe clairement le facteur humain comme le maillon faible. Le résultat de ce processus dépend énormément du niveau d'expertise et de la vision des experts sur la sûreté.

Une étude sur l'implémentation d'un management intégré en se basant sur les analyses des risques, réalisée par (Labodova 2004), montre que la maîtrise du risque est un support incontournable pour le management des systèmes complexes. Elle présente une approche pour l'intégration séquentielle de systèmes de management de la qualité comme QMS¹⁷,

¹³ **Statique** : qui n'évolue pas, semble fixé de manière définitive, par opposition à dynamique : un monde statique, immobile.

¹⁴ **Ethique** : qui concerne la morale (en latin *ethicus*, du grec *êthikos*, moral)

¹⁵ **Epistémologie** : discipline qui prend la connaissance scientifique pour objet. (en grec *epistêmê*, science)

¹⁶ **Déontologie** : ensemble des règles et des devoirs qui régissent une profession, la conduite de ceux qui l'exercent, les rapports entre ceux-ci et leurs clients et le public. (Source – LAROUSSE)

¹⁷ **Quality Management System**

EMS¹⁸ et OHSMS¹⁹. L'objectif est d'aboutir à un système de management intégré et formalisé « *There is no formalised integrated management system IMS* ». Un modèle théorique a été proposé (OHSMS/IMS) combinant les analyses des risques et PDCA appuyé par un cas d'étude industriel.

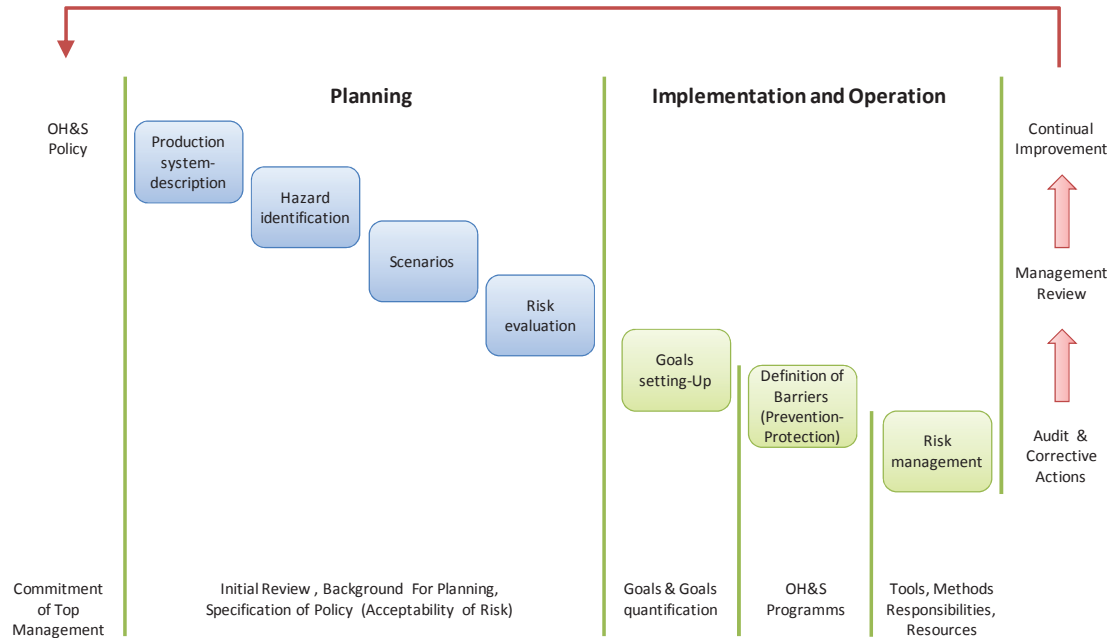


Figure II.8 Combinaison des analyses des risques et OHS (Labodova 2004)

Dans ce diagramme (Figure II.8), les étapes d'analyse de risque sont modélisées par correspondance au modèle PDCA. D'autres étapes, considérées comme importantes par l'auteur, sont rajoutées comme monitoring, audit et revue de management.

Ce deuxième exemple met en avant l'importance du risque et son rôle dans la dynamique du contrôle continu. Une telle intégration requiert à l'évidence un investissement supplémentaire en termes de temps et de ressources mais elle permet de consolider et d'appuyer les décisions prises dans un système de management. Utiliser le risque comme critère de gestion des priorités des actions a montré son intérêt dans le domaine particulier de la maintenance industrielle (Khan & Haddara 2003). Cette gestion apporte des indicateurs sur les risques encourus, les causes potentielles et sur le niveau de criticité d'une défaillance. Cette notion de prévention et de prise en compte des risques peut alors être intégrée dans tout processus de gestion d'un plan d'actions et de décision des priorités. Les retours clients, les non-conformités, les dérives process etc. sont tous des événements indésirables qui, en cas de politique corrective, peuvent engendrer des risques importants. Il faut mieux les prévenir que de subir des conséquences généralement très coûteuses.

¹⁸ Environmental Management System

¹⁹ Occupational Health and Safety Management System

3- Résolution des problèmes Plans d'actions : types et gestion actuelle

La résolution d'un problème est présentée par (Crepin & Robin 2001) comme un processus permettant d'aller, par étapes successives et avec rigueur, de l'identification du problème à sa résolution. Ils établissent un schéma générique (Figure II.9) de la méthode de résolution des problèmes composés de sept étapes successives.



Figure II.9 La méthode de résolution des problèmes (Crepin & Robin 2001)

L'ensemble de ces étapes englobe la totalité des actions à entreprendre pour atteindre un objectif qui est fonction des demandes et des attentes du client (interne ou externe). Cet objectif est en lien avec le type de problèmes :

- problème de type *dysfonctionnement* : dans ce cas, l'objectif est de résoudre un dysfonctionnement et d'apporter des solutions pour le contenir et le prévenir dans le futur.
- problème de type *besoin d'amélioration* : dans ce second cas, le déclencheur n'est pas une détection d'un événement indésirable mais un besoin et un objectif du demandeur pour améliorer sa performance et aller au-delà du niveau actuel.

Cette classification peut être associée à deux principaux types d'actions au sein d'un système de production (Motschman & Moore 1999) :

- plans d'actions *correctifs* (définis pour remédier à un évènement détecté),
- plans d'actions *préventifs* (permettent d'anticiper les défaillances et minimiser leur probabilité).

Les actions correctives sont réalisées pour éliminer les causes d'une non-conformité, défaut ou autre situation indésirable dans le but de prévenir son occurrence (ISO 2005). Par contre, les actions préventives permettent d'éliminer les causes potentielles. Des études (Nakagawa & Mizutani 2009)(Motschman & S. B. Moore 1999)... montrent l'impact parfois négatif des réactions post-évènement en termes de coûts, perte de rendement, qualité du produit et principalement des pénalités élevées. Le développement des stratégies préventives est un axe d'étude très abordé en industrie (Vairaktarakis 1999) en vue des apports qui en résultent.

Cette association (Figure II.9) montre que les deux principaux niveaux d'actions ont une dépendance directe avec la nature du problème.

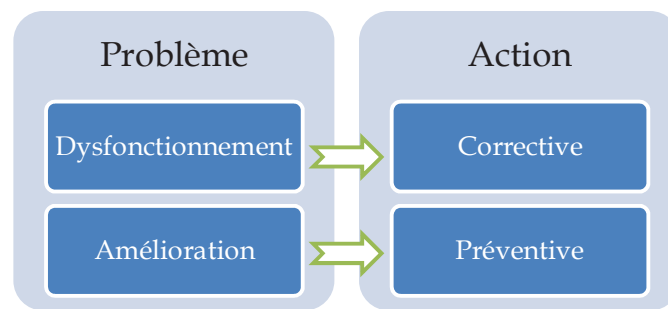


Figure II.10 Association type de problèmes vs action

Dans la méthode de résolution du problème, les auteurs définissent la ou les actions à entreprendre comme la solution du problème. Cependant, cette solution peut avoir un niveau de complexité plus ou moins élevé en fonction de l'objectif requis et de l'environnement en question. C'est pourquoi cette méthode de résolution, définie comme processus, englobe elle-même un sous-processus : celui de la gestion des plans d'actions.

Les moyens de résolution des problèmes ont une forte importance dans ce processus. Ils offrent aux experts des outils pour identifier les causes et établir les solutions appropriées. Les méthodes et approches développées pour proposer aux opérationnels des outils analytiques et de qualité connaissent un large succès dans le monde industriel. Les cartes de contrôle (Sulek et al. 2006), l'histogramme et diagramme de concentration de défauts sont utilisés pour gérer les priorités des actions en fonction des sévérités des évènements associées. D'autres méthodes, comme le diagramme en arête de poisson (Ishikawa), les analyses de risques (FMECA, Hazop) et brainstorming, ont un caractère préventif avec comme objectif d'éliminer les causes potentielles des défaillances (Crepin & Robin 2001).

La littérature sur le management des actions montre, qu'avec la complexité des processus et moyens de production, le processus de décision est généralement réalisé dans le cadre d'un groupe hétérogène d'experts. Sassoue et al. (Sasou et al. 1996) proposent un modèle pour

simuler le processus de décision au sein d'une équipe. Cette étude montre que les facteurs potentiels impactant ce processus sont : l'incapacité de trouver le défaut dans une mauvaise décision, ne pas trouver la source de défaillance ou de sélectionner la meilleure des décisions proposées par l'équipe.

Yaman et Balibek (Yaman & Balibek 1999) présentent un cas d'étude sur un problème similaire dans le domaine d'installation des facilities. Ils présentent un ensemble de types de processus de décision : processus basés sur les fonctions utilité/valeur ajoutée "*aggregate all the objectives and trade-off preferences and risk attitudes*", processus à hiérarchie analytique "*decisions objectives are elements of a hierarchy*" et processus à fonction objective.

Le processus de gestion des plans d'actions devient complexe en fonction d'un ensemble de critères dépendants :

- Cr1 : complexité du processus étudié,
- Cr2 : domaine concerné par le plan d'actions,
- Cr3 : complexité du processus global de production qui induit une divergence au niveau des services.

Ces trois critères influent sur le choix de la méthode à utiliser pour résoudre le problème et sur la fonction objective à étudier. Mais dans certains cas, la décision du choix doit être rapide. Dans ce cadre, (Muellner et al. 2007) présentent une étude sur l'optimisation de la gestion des actions suite à un accident. Une méthode de minimisation du temps de mise en place des actions est proposée pointant trois facteurs de réussite pour celle ci : choix des actions, disponibilité du système, identification continue de l'état du système.

4- Plan d'actions ou processus de décision ?

Face aux événements indésirables, aux problèmes et aux demandes d'améliorations, l'industriel doit **décider** des actions à mettre en place. Le processus de résolution des problèmes, développé dans la section précédente, montre les étapes à suivre pour y aboutir. On peut parler alors de définition d'un *plan d'actions* ou d'un *processus de décision* qui permet le choix d'actions appropriées. Il s'agit dans les deux cas de constater l'existant, l'analyser, décider des solutions et les implémenter.

Dans sa thèse, (SEGUY 2008) présente une synthèse bibliographique sur les processus de décision. Elle les identifie comme une activité complexe, basée sur un enchaînement de mécanismes conduisant à une prise de décision. Le plus ancien de ces processus de décision est celui de Simon (Simon 1977), qui est composé de quatre étapes : *Intelligence, design, choice & review*. Ces quatre étapes sont génériques des sept proposées dans le modèle de (Crepin & Robin 2001). Par contre, comme le montre le schéma de ce processus (Figure II.11), il est mis en avant le retour et l'échange d'information entre les étapes. L'étape 'review' a comme entrée le résultat de la mise en place de la solution (Choice) et elle permet si nécessaire de modifier et améliorer les étapes 'Design' et 'Intelligence'.

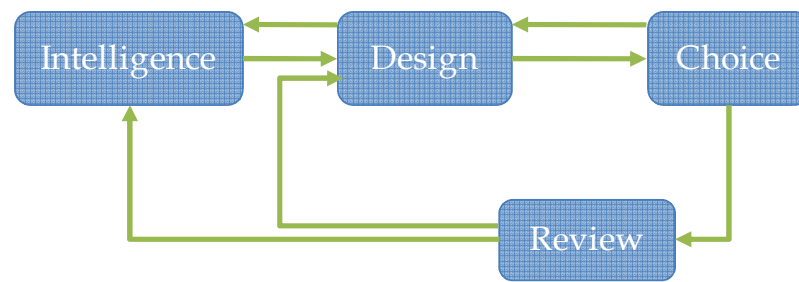


Figure II.11 processus décisionnel de Simon (Simon 1977)

Cette présentation du processus de décision est simple de présentation, elle montre les échanges et le retour d'information permettant une amélioration continue. Ce n'est pas le cas pour la présentation de Crépin qui montre un processus séquentiel. Or nul ne peut nier que l'expérience améliore la décision individuelle.

Gérer un plan d'actions est un processus de décision dont les entrées et les finalités sont les mêmes. Par contre, la définition d'un plan d'actions est très dépendante de l'organisation (qualité, R&D, maintenance...) qui le réalise et de ses objectifs opérationnels (Zu et al. 2008) (Aitken 2005). Dans le cas particulier d'actions correctives, des étapes de ce processus comme l'évaluation d'une action et de son impact à long terme sont généralement négligées. L'action corrective tend à arrêter le dysfonctionnement et à limiter les pertes. Le rôle de l'action préventive est d'apporter des améliorations du fonctionnement actuel du système et de prévenir les dérives. Dans ce deuxième cas, toutes les étapes sont à suivre avec rigueur afin de situer l'apport des plans 'préventifs' par rapport aux attentes.

Les processus de décision, de gestion des plans d'actions et de résolution des problèmes vont dans un même sens, celui de répondre à une demande formulée et explicite. Les études, présentées précédemment, montrent toutes de façon générique les étapes à suivre mais pas de méthodologie ou de spécification sur l'outil de qualité à utiliser, dans quel cas de problème ou domaine n'ont été précisées. L'expertise humaine est désignée souvent comme l'acteur majeur du processus de décision dont les résultats dépendent du niveau d'expertise et de la politique de résolution des problèmes (Harte et al. 1994). Un facteur qui peut être très intéressant à intégrer dans ce processus de décision, qui peut supporter les experts et les orienter dans les étapes de cette démarche, est l'analyse du risque et de son impact sur le processus étudié et les actions à décider. *L'approche des analyses des risques, montrant l'apport sur les aspects prévention et sécurisation des processus permet d'avoir un fil conducteur dans le processus de décision de l'analyse des événements à l'implémentation des actions.*

5- Une intégration du risque, de l'expertise et des événements ?

La prise en compte des risques dans les processus de décision pour les systèmes complexes a été un axe de nombreux travaux de recherche. (Körte 2003) propose une méthodologie nommée « Contingent risk and decision analysis » qui permet de supporter le processus de décision pour des circonstances variables avec des temps de décision courts. Cette

méthodologie est présentée sous forme de neuf étapes permettant de structurer et simplifier la situation pour les décideurs.

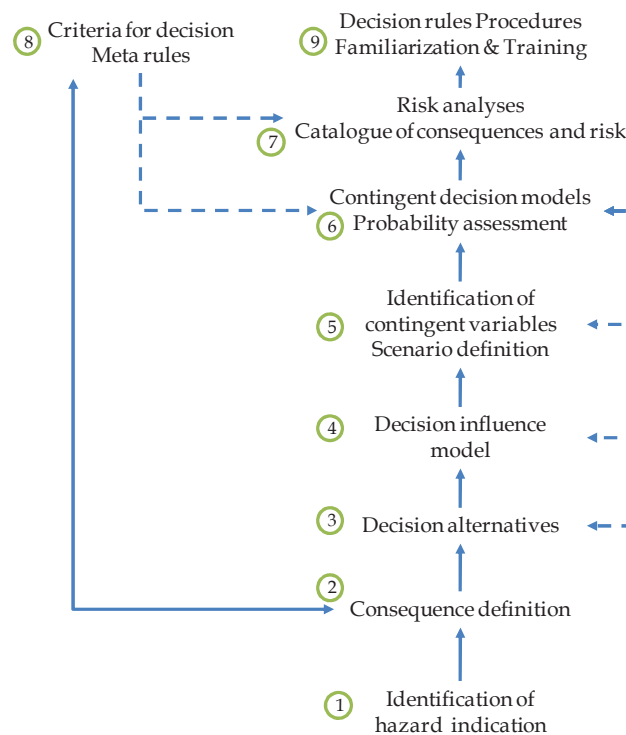


Figure II.12 processus de la méthode « Contingent risk and decision analysis » (Körte 2003)

Ce modèle montre l'intégration des processus d'analyse du risque et de gestion des décisions. Toutes les étapes de décision sont supportées par celles d'analyse du risque. Le résultat final est une décision basée sur le niveau de risque, ses probabilités et son évaluation par les experts. Cette méthode a été appliquée pour étudier les accidents et incidents d'hélicoptère, et a montré son intérêt en termes de structuration des procédures lors des incidents critiques. Selon les auteurs, pour que les plans d'actions et les processus de décisions soient performants, l'entreprise doit anticiper les situations indésirables et doit exprimer ce que doit être une bonne décision. C'est le rôle des analyses de risques dans les processus de décision. Cette intégration a été présentée par (Matos 2007) comme un problème multicritère. Il étudie la problématique de la prise de décision dans le cadre d'incertitude, présente le cas de résolution de problème avec un critère et propose par la suite une méthodologie de décision par la prise en compte du risque.

Cette notion de risque dans un processus de décision a été largement abordée dans la gestion des projets RPM : *Project Risk management* (Williams 1995). Elle a démontré son rôle dans la réussite des projets, la prévention d'événements indésirables et l'aide à la décision : *Identification and assessment of environmental uncertainty then becomes critical to project success and lies at the heart of the decision-making process*. Cette citation est extraite de l'étude bibliographique de Williams sur la gestion du risque dans les projets. Un risque identifié

comme acteur principal pour prévenir les détracteurs de performances, les causes du retard et les pertes en termes de coût.

Dans ce cadre, (Chapman 1997) présente un processus générique nommé « *PRAM : Project Risk Analysis Management* ». Ce processus est similaire, par sa structure, à celui proposé par (Körte 2003). Il est constitué de neuf étapes : Define, Focus, Identify, Structure, Ownership, Estimate, Evaluate, Plan et Manage. Chacune de ces étapes est développée afin de préciser et permettre une utilisation plus facile pour les praticiens en présentant des exemples. Cette étude appuie les propositions précédentes qui recommandent une analyse *structurée* et des *étapes bien définies* pour une réussite de la méthodologie.

Les critères étudiés dans les approches RPM sont généralement : Durée, Coût, Bénéfice, ressources nécessaires et qualité des résultats (Tavares et al. 1998). Le risque est étudié dans certains cas comme facteur relatif à la fonction objective à minimiser, comme dans l'étude de (Tavares et al. 1998) qui propose un modèle pour la minimisation du risque lié aux coûts et durée des projets.

La prise en compte du risque dans le management des projets est présentée comme essentielle et au cœur de la réussite du projet. Mais cette prise en compte, comme la majorité des autres domaines, est liée à l'expertise humaine. (Baccarini & Archer 2001) proposent, dans ce contexte, une approche pour améliorer l'estimation du risque et son évaluation. Nommée PRR : *Project Risk Ranking*, cette approche est basée sur une matrice d'évaluation du risque qui permet en fonction des données du projet (client, nature, industrie...) d'attribuer le niveau de risque le plus approprié. Mais en gestion des projets, les objectifs de mise en place d'une démarche d'analyse des risques ne doivent pas se limiter à une détermination d'une probabilité. Gourc et al. (Gourc et al. 2001) appuient l'importance de telle démarche dans la définition du plan de réponses aux risques : *les objectifs sont tout a fait louables – Mieux préparer les équipiers à une situation de crise, former aux conduites à tenir en cas de survenue, responsabiliser etc.*

Le risque, critère dans le processus de décision, est évalué selon son impact et en fonction des objectifs recherchés. Mais quelle est donc la dimension ou l'ampleur d'un risque dans un projet ? (Bruzelius et al. 2002) associent le niveau de risque à la nature de la décision à prendre : *Big decision, big risk*. Dans leur travail, ils montrent que le risque et son impact sont en correspondance avec la nature du projet et son ampleur. Plus le projet est important (avec des coûts élevés...), plus le risque de pertes est important.

V. Synthèse et contexte de proposition :

Cette revue de l'état de l'art détaille un ensemble de méthodes, de propositions et d'applications industrielles dans les domaines des analyses des risques et de la gestion des

plans d'actions. L'objectif initial étant de présenter les axes d'étude de cette thèse, cette synthèse montre les pistes étudiées et les éléments de réponse apportés par les approches proposées pour répondre à deux questions principales :

- *Comment simplifier la gestion des risques tout en la rendant dynamique et opérationnelle ?*
- *Avec quelle méthodologie peut-on optimiser la décision dans un plan d'action par la prise en compte du risque ?*

1- Comment apprend-on des évènements réels ?

Comme présenté dans la première section de ce chapitre, le processus d'analyse des risques est une démarche structurée qui permet une identification des points critiques d'un système donné et une définition des actions préventives appropriées. Ce processus, très ancien dans le temps, a connu des améliorations, des applications dans divers domaines (industriels ou non) mais également des critiques et des rejets d'implémentation dans certains cas.

Dans le cas du semi-conducteur et, en particulier, dans l'étude que l'on a réalisée dans le cadre de la société STMicroelectronics, les analyses des risques présentent un apport majeur dans l'optimisation des processus et la prévention d'évènements indésirables à l'origine de pertes parfois considérables. C'est également un outil qui permet d'évaluer la capacité à produire des puces de qualité (document exigé par le client). Mais la complexité des gammes de fabrication (recettes) et la technologie poussée des outils de production ne permettent pas aux experts de rentrer dans les détails et développer des analyses de risques conforme aux règles. Elles deviennent ainsi rapidement obsolètes et dans certains cas ne sont utilisées que comme moyen pour justifier d'une politique de prévention.

L'étape d'identification et d'estimation du risque, étant la plus lourde en termes de temps de disponibilité d'experts et de moyens d'investigations, peut être une piste potentielle pour améliorer et alléger ce processus. Comme l'état de l'art l'a suggéré, les études sur les analyses des risques considèrent cette étape comme clé de réussite mais elles la relient au niveau d'expertise et à la politique de l'entreprise. Dans le contexte actuel où la gestion de l'information et les systèmes d'information jouent un rôle central dans l'entreprise, notre constat est qu'un retour d'expériences ou retour *d'informations* peut supporter ces analyses de risques et leur apporter des éléments d'amélioration : c'est sur cette intuition que cette thèse a été construite. L'expertise acquise par les ingénieurs et leurs connaissances des systèmes sont le résultat du suivi des évènements indésirables et des actions déjà mises en place ; cette expertise peut définir quels risques sont encourus dans le futur et quels moyens de prévention doivent être mis en place.

Le questionnement relatif à cette problématique est : *comment mettre les évènements indésirables détectés au service de la prévention des risques et comment associer pertinemment expertise humaine, traitement de l'information et risque potentiel ?*

2- Risk Based Maintenance « Dynamique » : suivi et mise à jour ?

Les équipements de production dans l'industrie du semi-conducteur sont dotés d'innovation technologique avancée ce qui induit des coûts élevés en termes d'investissement et de maintenance. La RBM est une approche innovante qui permet de définir et de modifier des plans de maintenance préventive en fonction du risque potentiel.

Cette méthodologie a été présentée pour appuyer le travail des experts et améliorer la « conception » de la maintenance. Mais comme pour les analyses des risques d'autres domaines, c'est l'expert qui identifie, estime et qualifie le risque. Un équipement de production complexe requiert une analyse fonctionnelle détaillée afin de cibler au mieux les éléments critiques du système, ce qui s'avère très complexe à réaliser avec des équipements comme ceux de la salle blanche.

Les logiciels de GMAO²⁰, qui ont fait leur apparition dans les années 80, connaissent un large succès dans l'industrie par les gains qu'ils apportent en termes de traçabilité des opérations, d'optimisation de maintenance et de gestion des données des équipements. Ces outils permettent de centraliser les informations sur les pannes, les actions associées et les coûts engendrés. Un historique complet sur l'équipement qui, en cas de bonne interprétation, permet d'améliorer ses performances d'exploitation et d'anticiper ses dérives. Cet historique peut être considéré comme un point d'entrée pour la RBM pour offrir aux experts un support de travail basé sur des événements réels et des pertes déjà mesurées.

Pour améliorer les plans d'actions de maintenance et aboutir à une optimisation *continue* de ces plans, il faut arriver à partir d'événements détectés, définir des actions et mesurer leur performance par la suite. La question est alors : « comment définir un plan d'actions de maintenance qui intègre les notions de risque et événementiel avec une évaluation continue de type **RBM dynamique** ? »

3- Des plans d'actions unifiés : les Risques sont-ils pris en compte ?

La revue de littérature montre la diversité des outils de qualité proposés pour faire face aux événements et problèmes qui peuvent impacter un système de production. La roue de Deming ou PDCA est le support privilégié de l'amélioration continue car elle porte une dynamique de progrès. Résoudre un problème, définir un plan d'action et prendre une décision sont des actions complémentaires qui contribuent à l'objectif d'amélioration.

Les études réalisées à ce sujet montrent qu'une structuration des étapes et une identification précise de l'objectif sont clés dans la réussite d'un plan d'actions. L'identification de la ou des causes de défaillance est un élément crucial et un facteur prépondérant sur la qualité de la décision. Elle est en effet présentée dans la littérature comme une des étapes les plus importantes du processus de décision. L'analyse du risque permet, avec sa structure, une

²⁰ Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur : est une méthode de gestion assistée d'un logiciel destiné aux services de maintenance d'une entreprise afin de l'aider dans ses missions.

identification des causes potentielles d'un événement ce qui permet de consolider la décision pour prévenir un tel type d'évènement.

L'intégration du risque dans la gestion des projets a montré les apports et les gains en termes de coûts et performance. Pourquoi donc ne pas l'intégrer alors dans un processus de gestion d'un plan d'actions ce qui permettra certainement d'améliorer l'aspect préventif et de gérer les priorités en termes de valeur du risque.

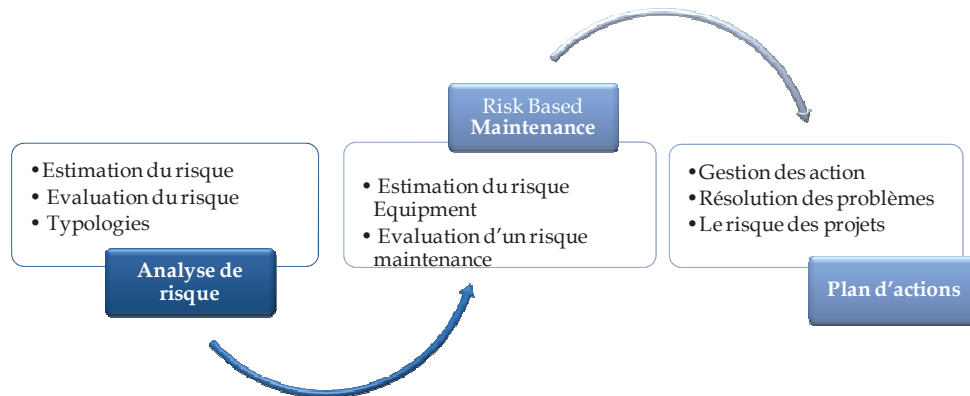


Figure II.13 vers un Risk Based Maintenance et des plans d'actions « Dynamiques »


La Figure II.13 montre les liens entre la revue de l'état de l'art et les propositions de cette thèse. Une première étape consiste à définir des voies afin de simplifier et améliorer l'approche classique de gestion des risques. Ensuite, comment intégrer événements de maintenance pour rendre la RBM dynamique et ainsi évaluer en continu les plans de maintenance. Et comme dernier axe de cette thèse, la gestion des plans d'actions qui devient unifiée quel que soit l'évènement traité tout en intégrant la notion de risque dans la décision.

VI. Conclusion :

Ce chapitre de la thèse a été dédié à une revue des travaux de recherche et des applications industrielles dans les domaines de gestion des risques et des plans d'actions. Cette revue a été réalisée en fonction de l'objectif de cette thèse en termes de propositions et applications industrielle.

Le point central de ce chapitre est l'intégration du risque dans le processus de décision. Qu'il s'agisse de risk based maintenance ou de gestion unifiée des plans d'actions, notre constat était qu'une intégration *dynamique* du risque peut apporter des améliorations à des processus comme la maintenance, la qualité ou autre.

Les chapitres qui suivent (III et IV) développent respectivement une approche de gestion dynamique des risques dans un système de maintenance et une méthodologie de gestion unifiée des plans d'action par la prise en compte du risque. Des développements suivis par une application industrielle seront présentés et discutés pour évaluer l'apport de chacune des approches.



Chapitre III : Vers une gestion dynamique des risques basés sur les données de production

I. Introduction :

La différence entre une défaillance et un risque se situe dans la réalité des faits. Une défaillance ou un problème, c'est un événement réel dont on subit les conséquences, le risque n'étant qu'une probabilité d'apparition du phénomène. Dans le cadre général, on parle de risques naturels et en particulier ceux liés à l'environnement, on s'intéresse à leur prévention. Mais on trouve également cette notion de risque qui prend de plus en plus d'importance dans l'industrie (Rosness 1998). Avec des exigences croissantes et parfois contradictoires au niveau qualité des produits, respect des délais et surtout les coûts de production. Les industriels cherchent à minimiser les risques qui peuvent affecter leurs objectifs. La méthode de gestion des risques appelée AMDEC « Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité » ou FMECA « Failure Mode, Effect and Criticality Analysis », utilisée initialement dans le secteur militaire (DOD 1980) a été largement déployée dans divers domaines industriels. Cette méthode, basée sur l'analyse fonctionnelle des procédés et processus, vise à prévenir les risques et maximiser les gains en temps, coûts et qualité.

Un risque industriel peut impacter le produit, le procédé de fabrication ou l'outil de production. Les risques les plus étudiés dans ce cadre sont souvent ceux liés aux équipements qui ont un impact sur la qualité des produits, le rendement et le temps de cycle. L'objet de ce chapitre est de présenter une nouvelle approche pour la gestion des risques industriels. Il montre l'intérêt d'une gestion dynamique des risques opérationnels et son rôle dans l'identification des 'vrais' risques et ainsi dans l'optimisation de la gestion des actions préventives. Une approche pour la gestion des risques liés aux équipements a été développée et généralisée par la suite à l'ensemble des données de production.

Ce chapitre est organisé ainsi : une première section vient introduire la notion de risque dans un système de maintenance et décrit l'approche 'classique' RBM « Risk Based Maintenance ». La deuxième section détaille notre proposition sur la gestion dynamique des risques équipements, le cas d'étude développé, puis la discussion des résultats obtenus. La troisième et dernière section de ce chapitre traite de la généralisation de l'approche proposée pour une intégration de toutes les sources d'événements de l'entreprise.

II. Les risques dans un système de maintenance :

La maintenance du parc équipement d'une entreprise est généralement assurée par le service maintenance. Ce service, connu dans les débuts des années soixante dix comme le service d'entretien, était conçu au départ pour réparer les machines en cas de panne. Mais cette fonction s'est rapidement développée pour aller vers d'autres politiques de maintenance permettant de prévenir les dysfonctionnements et améliorer la fiabilité et la disponibilité des équipements. De nombreuses études et recherche ont été développées dans cet axe afin d'optimiser le rendement d'utilisation des machines et minimiser les coûts de maintenance.

1- Les politiques de maintenance :

Les politiques (ou stratégie) de maintenance sont les méthodes développées dans l'industrie pour gérer les interventions sur les machines. Deux principaux types de politique sont utilisés :

a. La maintenance corrective

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise (AFNOR 2001).

Elle est classée comme maintenance curative si l'intervention a un caractère définitif où palliative si l'intervention est provisoire.

b. La maintenance préventive

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés, selon des critères prescrits, et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien (AFNOR 2001). La maintenance préventive regroupe l'ensemble des actions mises en œuvre dans le but de réduire le nombre de pannes et le taux de défaillance d'un outil de production. Ces actions sont planifiées selon différents critères choisis pour augmenter la disponibilité de l'outil et ne pas subir les pannes comme dans le cas de la maintenance corrective.

La maintenance préventive est classée en deux modes :

- *Maintenance systématique* : Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien (AFNOR 2001). Réalisée systématiquement sur des éléments de criticité élevée à des intervalles prédéfinis.
- *Maintenance conditionnelle* : Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent (AFNOR 2001). Cette catégorie est réservée au matériel onéreux, pouvant être suivies et inspectés.

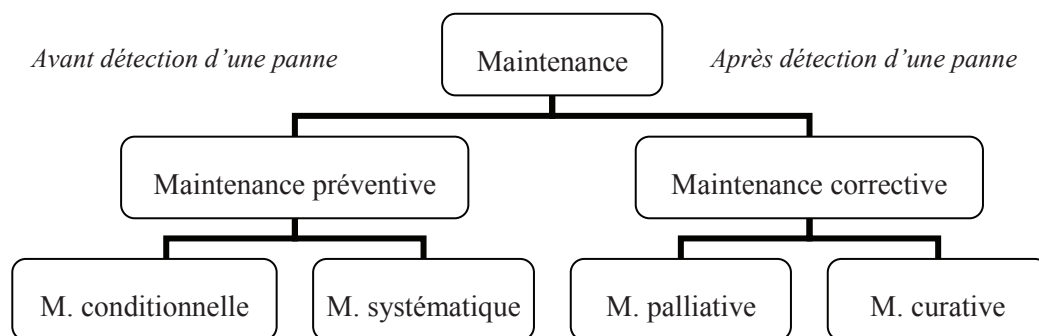


Figure III.1 Les différentes formes de maintenance

La Figure III.1 présente une cartographie des politiques de maintenance générale, elle montre les types d'interventions par rapport aux événements (avant ou après l'apparition d'une panne). Les études d'amélioration des politiques de maintenance préventive (Age, block...) (Nakagawa & Mizutani 2009) ont été centrées sur l'amélioration des performances des machines selon des critères comme MTBF²¹, MTTR²², taux de disponibilité et d'autres... Ces critères prennent en compte les paramètres machines, le taux de charge et les coûts associés. L'objet de ces politiques est d'optimiser les intervalles de maintenance et de minimiser le risque des pannes. Un autre type de maintenance qui a émergé depuis l'année 2000 est nommée la e-maintenance, définie comme support de maintenance qui contient les ressources, les services et le management nécessaire pour permettre un processus d'exécution dynamique (Muller et al. 2008). Enfin des stratégies de maintenance ont privilégié l'intégration du niveau de risque et les analyses fonctionnelles pour prévenir les pannes et dysfonctionnements. Ces politiques connues sous le nom RBM: Risk Based Maintenance, permettent l'intégration du risque dans l'amélioration des plannings de maintenance préventive.

2- Le rôle des analyses des risques dans l'optimisation des priorités de maintenance

a. L'impact de la maintenance sur le processus de production

Le rôle des politiques de maintenance est de définir des moyens de détection et de mise en place d'actions correctives ou préventive pour assurer le bon fonctionnement d'un système. Le rôle de ces politiques a été largement démontré et mesuré en termes de productivité et bénéfice de l'entreprise (Alsyouf 2007). Mais plus les systèmes de production sont complexes, plus l'identification et le choix de ces stratégies devient difficile. C'est pourquoi ce domaine de l'industrie a été largement étudié et diverses stratégies ont été adoptées en fonction du domaine industriel. Les pannes et les arrêts non contrôlés affectent le temps de cycle de fabrication, la qualité du produit et, évidemment, le coût de production. Les politiques de maintenance citées dans la section précédente montrent l'intérêt de planifier à l'avance les actions en optimisant des intervalles qui les séparent.

Dans le cas particulier du semi-conducteur, l'équipement est au cœur du système de production et la qualité des produits est en forte dépendance du fonctionnement des machines. Une étude chez STMicroelectronics (Figure III.2) a montré que les arrêts des équipements sont à l'origine d'environ 40% des rejets de plaquettes.

²¹ Mean Time Between Failures

²² Mean Time To Repair

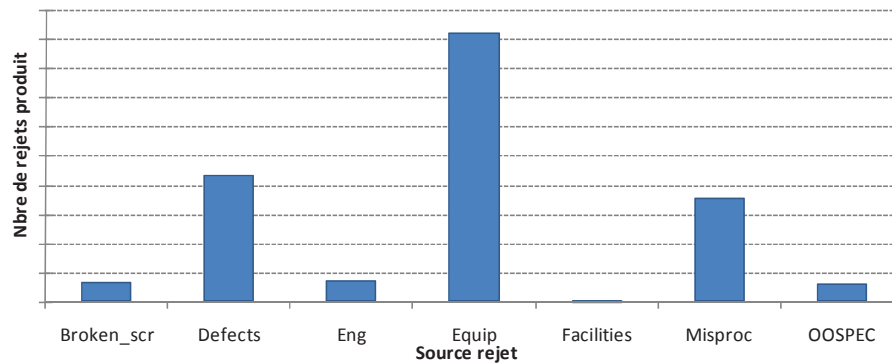


Figure III.2 Taux de rejets par source

Dans ce domaine, même les tâches correctives doivent respecter des procédures prédéfinies et aucune action non répertoriée dans la base des actions ne peut être exécutée. Les analyses des risques jouent dans ce domaine le rôle d'identificateur des défaillances possibles et de causes potentielles. L'idée d'intégrer la notion de risque dans la maintenance des machines a été utilisée par les militaires (DOD 1980) pour fiabiliser leurs systèmes et éviter les défaillances qui coûtent très cher en pertes matérielles et humaines dans ce domaine. La complexité des équipements et la technologie avancée utilisée pour les piloter rend la tâche des services maintenance difficile et la recherche de la cause de panne plus délicate. C'est pourquoi une analyse préliminaire des risques associés au fonctionnement de l'équipement et ses composants présente un des supports de prévention et de minimisation du taux de panne. L'approche Risk Based Maintenance est au cœur de cette idée, elle montre comment partir d'une estimation de risque, passant par une analyse des impacts vers une amélioration des plans préventifs.

b. L'approche Risk Based Maintenance (RBM)

L'étude de l'état de l'art (Chapitre II) montre que plusieurs travaux ont eu comme sujet l'optimisation des stratégies de maintenance par la minimisation du niveau du risque (Tomic 1993) (Khan & Haddara 2003) (Duarte et al. 2006). Ces travaux relèvent l'importance de la maîtrise préventive du niveau de risque en raison de leur impact sur les coûts de maintenance, les pertes de productivité, la qualité et les rendements. Cette approche désigne le risque comme point essentiel pour définir l'ensemble des actions préventives. L'analyse du hasard pour chaque unité de l'équipement permet d'identifier les risques qui peuvent impacter le bon fonctionnement et ainsi les prévenir par les actions adéquates.

L'approche classique RBM (Risk Based Maintenance) a été proposée pour intégrer les analyses de risques dans le processus de gestion de la maintenance. Mais développer une analyse fonctionnelle complète pour un équipement et étudier pour chacune de ses parties les risques possibles demande beaucoup de temps et une mobilisation des experts maintenance. Dans le semi-conducteur et dans d'autres domaines industriels utilisant des équipements complexes, la priorité est donnée à l'amélioration de la disponibilité et les

ingénieurs maintenance ont généralement des plannings chargés et des priorités liées à la production. Dans la majorité de ces études (Labodova 2004) (Tixier et al. 2002)..., l'expertise humaine est seule utilisée pour formaliser l'analyse de risque et quantifier l'occurrence aléatoire des risques, estimer leur criticité et la pertinence de leur niveau de détection à travers l'analyse de l'historique équipement.

Notre proposition est orientée sur une approche dynamique de la réutilisation des informations et des connaissances issues des expertises ou des événements passés pour l'estimation des risques. Assister l'expertise humaine durant les phases d'identification et de quantification permettra des analyses plus précises et des mises à jour régulières en optimisant la productivité des ressources engagées dans ce processus.

III. Le modèle d'une gestion dynamique des risques maintenance, Risk Based Maintenance dynamique RBMd

1- La gestion des événements maintenance

Dans la suite de ce chapitre l'ensemble des termes et abréviations relatifs au risque et événement sont détaillés dans les paragraphes nomenclature et définitions.

a. Nomenclature

R: **R**isk (Estimated)
E: **E**vent (Actually detected)
IS: **I**nformation **S**ystem
Dr: **r**isk **D**efinition (Item / Function, cause and effect)
Ro: estimated occurrence of the **R**isk
Rs: estimated severity of the **R**isk
Rd: estimated detection of the **R**isk
 $RPN = Ro * Rs * Rd$: **R**isk **P**riority **N**umber
Rpo= $Rs*Ro$: **R**isk **p**riority **o**ccurrence affect cycle time and cost
Eo: **E**vent **o**ccurrence
Es: **E**vent **s**everity
Ed: **E**vent **d**etection
De: **e**vent **D**efinition (Item / Function, cause and effect)
AP: **A**ction **P**lan
eAP: **e**ngineering **A**ction **P**lan
rAP: **r**isk **A**ction **P**lan

b. Définitions

Un événement (**E**) est un fait réel détecté suite à une défaillance, un mauvais fonctionnement ou une non-conformité. L'événement est identifié par sa définition (**De**) et ses paramètres d'évaluation : Occurrence (**Eo**) et sévérité (**Es**).

E (De, Eo, Es)

Les plans d'actions définis par les ingénieurs (eAP) sont mis en place pour corriger les effets générés et limiter les pertes.

$$E_i \Leftrightarrow \sum_{j=0}^n eAP_j \quad (\text{n: nombre des actions associées à un évènement i})$$

La définition du risque (**R**) dépend du domaine étudié et du type des effets que peut engendrer le risque. Dans cette thèse on étudie les risques affectant le bon fonctionnement (Fiabilité, Coûts et temps de cycle) du système de production. On définit ainsi le risque comme tout dysfonctionnement potentiel pouvant affecter le fonctionnement de l'outil de production, des opérations liées aux recettes, ou la structure d'une technologie. Chaque risque est caractérisé par sa définition (Dr), son Occurrence (Ro), sa Sévérité (Rs) et son niveau de Détection (Rd).

R (Dr, Ro, Rs, Rd)

L'évaluation du niveau de risque dans la méthode FMECA est basée sur une limite connue sous l'abréviation **RPN** (Risk Priority Number). C'est le résultat de la multiplication des trois paramètres du risque: *Sévérité* - **Rs** (Evaluation de l'impact sur le produit, processus ou équipement), *Occurrence* - **Ro** (La probabilité d'apparition du risque) et la *Détection* - **Rd** (niveau de détection du dysfonctionnement).

$$RPN = Rs * Ro * Rd$$

Pour chaque risque identifié, si sa valeur d'RPN dépasse la limite admissible (Fixée en général par les industriels en fonction du domaine d'application), une ou plusieurs actions (rAP) doivent être définies pour prévenir le dysfonctionnement et agir en priorité sur les causes.

$$R_i \Leftrightarrow \sum_{j=0}^n rAP_j \quad (\text{n: nombre des actions associées à un risque i})$$

Cette définition du problème sera utilisée dans la suite de ce chapitre pour présenter les approches proposées et la manière d'aborder cette problématique.

2- Proposition

Notre proposition consiste à améliorer ce qui a été développée dans la méthodologie RBM en proposant aux experts une liste prédéterminée de risques prioritaires. Il s'agit de développer un outil d'aide à la décision, basé sur les modèles cités dans la littérature ((Harte et al. 1994), (Azria et al. 2007)) et sur la gestion des retours d'expérience pour assister les ingénieurs maintenance pendant les deux phases d'identification et d'estimation du risque.

Notre question centrale est : comment améliorer la gestion des plans d'actions de maintenance par la prise en compte du risque tout en simplifiant le processus de décision ?

Pour répondre à ce questionnement, on propose une approche *dynamique* pour identifier les risques dans un système de gestion de maintenance tout en intégrant les événements enregistrés en cours du cycle de production. Les étapes de cette approche consistent dans un premier temps à définir des liens entre les analyses de risques et les événements de la salle blanche pour faciliter la mise à jour des FMECA et des connaissances capitalisées dans cette base. Puis, en deuxième lieu, suivre en temps réel les facteurs majeurs de pertes de performance et agir en conséquence sur les causes potentielles. Avec cette méthodologie, la création des plans d'actions n'est plus basée uniquement sur l'expertise humaine mais également sur une analyse approfondie de l'historique des événements et du niveau de risque associé.

Utiliser l'historique des pannes d'un équipement, avec calcul des critères d'occurrence de sévérité et du couple $R_s * R_o$ (**Rpo**) permet d'identifier les risques potentiels de chaque machine. Cet historique est généralement enregistré dans des bases de données de maintenance connues sous le nom GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur). Il constitue une base de connaissances très riche qui contient des descriptions des pannes, leurs causes et, surtout, les solutions mises en place. Ce que nous proposons dans cette étude, c'est d'utiliser ces connaissances pour identifier les risques potentiels et améliorer la qualité de décisions et des actions mises en place. Le résultat consiste à simplifier l'identification des risques (gains en termes de temps et de ressources), obtenir des FMECA '*dynamiques*' et régulièrement mis à jour et des plans d'actions de maintenance performants.

La Figure III.3 montre l'amélioration proposée : **RBMd** (Mili et al. 2009). C'est durant la première étape identification et cotation du risque que le système analyse les données de maintenance et les codes en formalisme FMECA. La suite de la méthodologie RBM reste inchangée sur les aspects identification des actions.

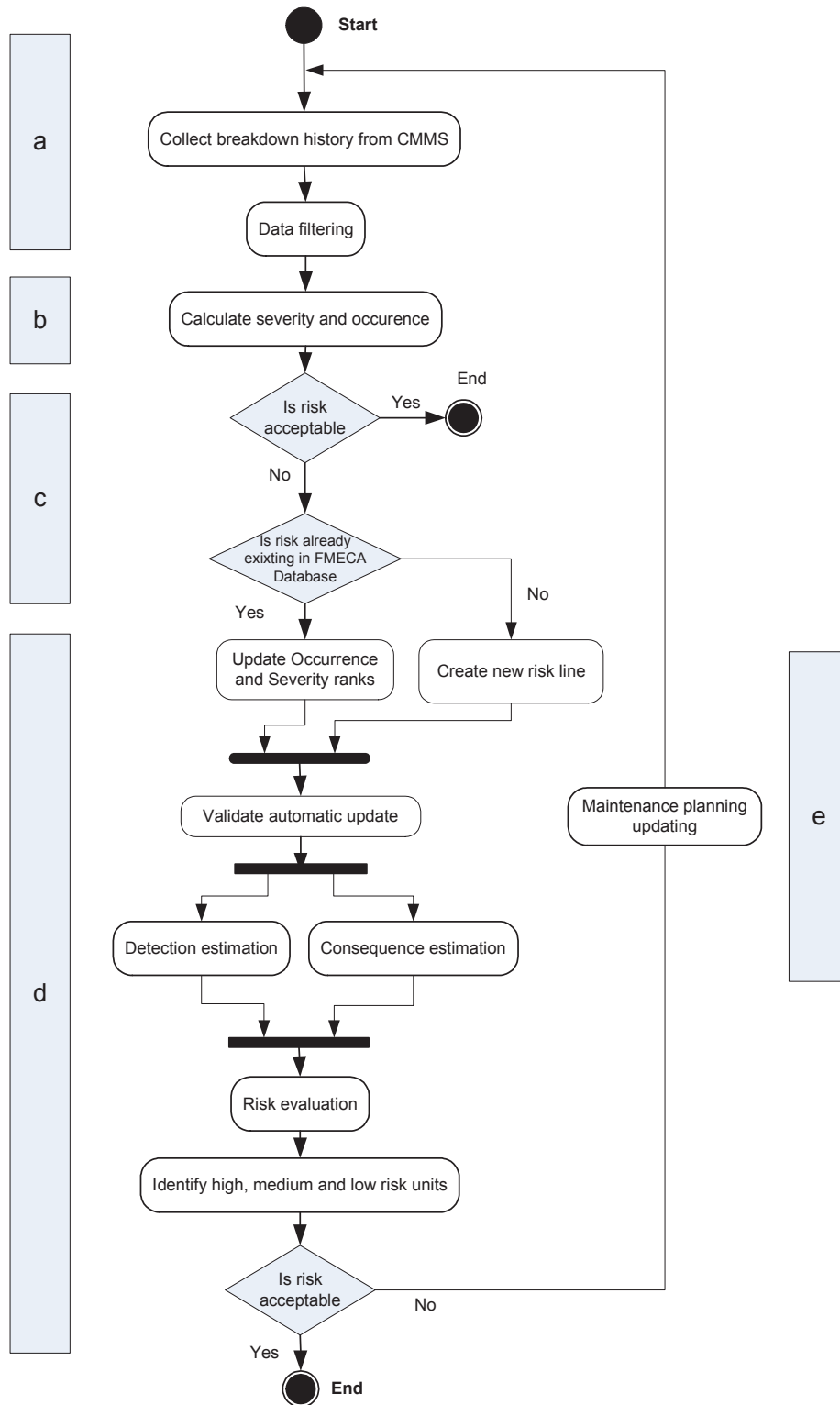


Figure III.3 Nouvelle approche pour la RBM : RBMd

Les étapes de cette procédure consistent à :

- a) Collecter les données issues de la GMAO (historique de la maintenance corrective).
- b) Calculer l'occurrence et le temps d'arrêt total de chaque panne.
- c) Transformer l'historique de l'équipement en formalisme FMECA.

- d) Sélectionner les risques classés potentiels.
- e) Mettre à jour la base de risques et vérifier le niveau des risques existants.

Ce travail préliminaire offre un document de base pour les experts. Il leur permet de travailler sur les risques imminents et issus de la réalité de l'équipement. Mais la validation de l'expert reste obligatoire afin d'éviter des erreurs d'estimation et permettre une flexibilité d'accès au données.

Ce nouveau processus ne gêne pas le fonctionnement classique de la RBM. Si des risques sont potentiels et n'ont pas été détectés par le système, les experts peuvent les rajouter dans leur analyse. Mais un risque qui est issu d'une analyse poussée de l'historique des pannes a plus de chance de se reproduire.

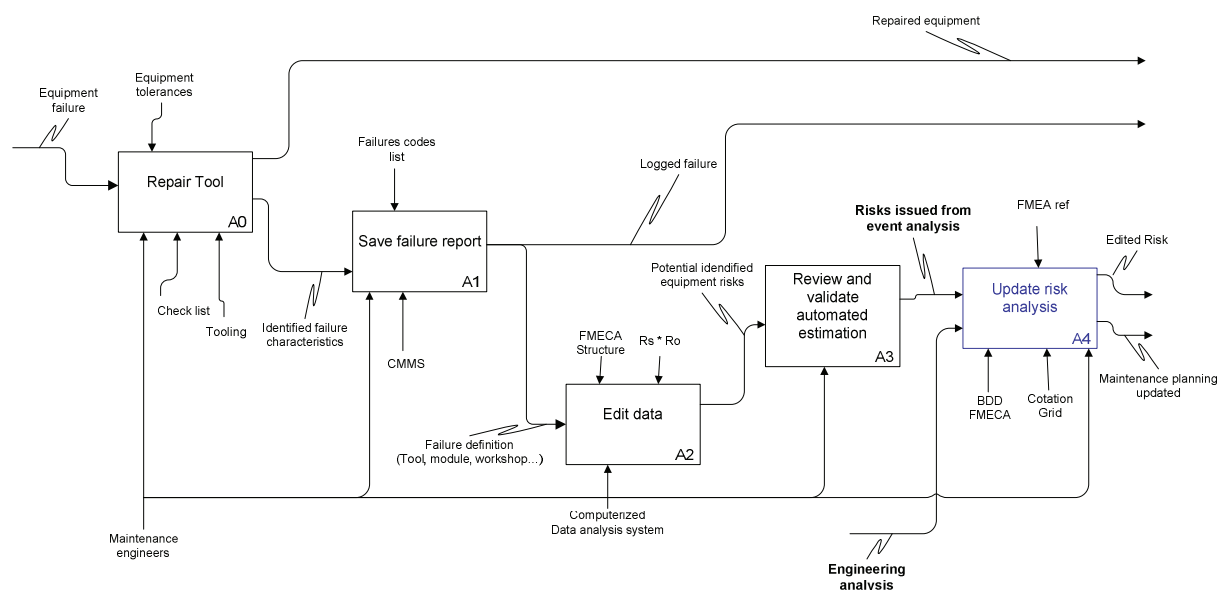


Figure III.4 IDEF0 – RBM dynamique

Ce diagramme IDEF0 (Figure III.4) illustre les entrées et sorties de chaque activité. Les ingénieurs de maintenance interviennent dans toutes les étapes sauf le calcul automatisé des risques associés aux pannes. Leur validation (A3) permet d'approuver le contenu de l'analyse des événements et d'écarter les risques surévalués. La mise à jour du risque équipements (A4) est alors alimentée par deux entrées : l'analyse préventive classique et les risques issues de l'analyse d'événements réels.

3- Panne équipement vs risque

Pour faire le lien entre informations issues d'un système de maintenance (codes) et le formalisme risque, il faut mettre en évidence toutes les similarités entre une panne dans une base de GMAO et un risque équipement dans une base de risques. Les analyses préliminaires de risques spécifient pour chaque risque le ou les modes de défaillance possibles, les causes et effets potentiels. Dans le cas des FMECA équipement, une analyse

fonctionnelle est recommandée afin de détailler les blocs fonctionnels de la machine (Voir exemple analyse fonctionnelle Annexe 3).

Un risque est en premier lieu associé à une partie du processus et/ou d'une fonction et doit être défini par un ensemble de critères qu'on peut classer en trois sous-ensembles :

- **Partie1** - La définition du risque : elle est composée de cinq paramètres qui permettent de définir la fonction de l'équipement ou du processus impacté (*Item/Function*), le ou les modes de dysfonctionnement potentiels (*Potential Failure Mode*), le ou les effets potentiels (*Potential Effects of Failure*), la ou les causes qui peuvent le déclencher (*Potential Cause/Mechanism of Failure*) et les moyens actuels de contrôle et de prévention (*Current Controls Prevention/Current Controls Detection*)
- **Partie2** - L'évaluation du niveau de risque : les trois critères à identifier sont la sévérité, l'occurrence et la détectabilité. Des grilles de cotation sont standardisées afin de coter sur une échelle de 1 à 10 ces critères. L'évaluation du risque se fait par le RPN qui est le produit de ces trois critères.
- **Partie3** - L'action associée au risque : c'est la partie où les actions préventives nécessaires sont définies pour diminuer le niveau de risque et passer en dessous de la limite autorisée. Cette partie contient le détail des actions (responsables, dates...) et la réévaluation du risque (Forecasted effect) une fois ces actions en place.

L'Annexe 4 montre un exemple d'une FMECA équipement avec toutes les parties citées ci-dessous et des exemples de risques.

4- Mise à jour dynamique de la base des risques

Toute panne est associée à un équipement donné et pour une fonction particulière. Le compte rendu de panne contient une description de la cause et l'effet engendré par la panne. Ces informations permettent de définir « l'Item function » et « le Potential failure mode » de la partie 1 de l'identification du risque.

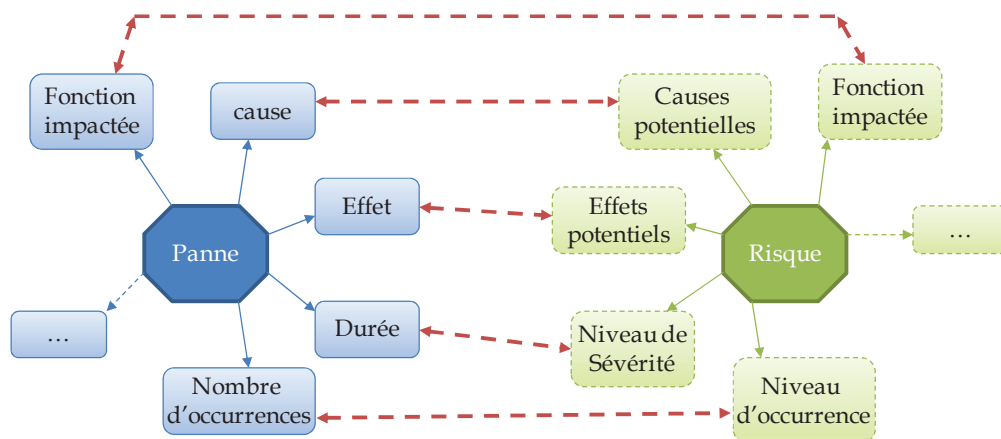


Figure III.5 Liens identifiés entre données de maintenance et risques

La Figure III.5 montre les liens identifiés dans cette approche entre une donnée de maintenance et une instance de risque. Les liens illustrés entre durée de panne et niveau de sévérité et entre nombre d'occurrences et niveau d'occurrence permettent de définir deux des critères d'évaluation du risque (Partie2).

Pour établir ces liens, il est indispensable de vérifier la structure des données de maintenance et la qualité de saisie des informations d'une panne. Ce sont les critères qui impactent le calcul de la sévérité et l'occurrence du risque associé.

5- Modèle de données :

Un premier modèle de données a été construit afin de présenter la structure du système d'information lié au contrôle des procédés et les interactions possibles avec les analyses de risques (Figure III.6). Ce modèle montre les liens qui peuvent être établis entre les pannes machines (*Failure*) et l'analyse de risque (*Risk*). Toute panne équipement enregistrée en cours de production doit être identifiée en fonction de ses causes (*Cause*), effets (*Effect*) et le mode de défaillance constaté. A ces informations, on associe des codes de résolution décrivant de manière détaillée le plan d'actions correctif (*Corrective Action*). Le modèle montre que la gestion des ces événements et des actions est structurée par équipement (*Equipment*) et par atelier de production (*Workshop*).

Les analyses de risques, représentés dans ce modèle par les classes *Risk*, *Cause* et *Effect*, montrent l'aspect préventif des interventions. La définition du risque et l'estimation des effets sont également des déclencheurs d'un plan d'action préventif.

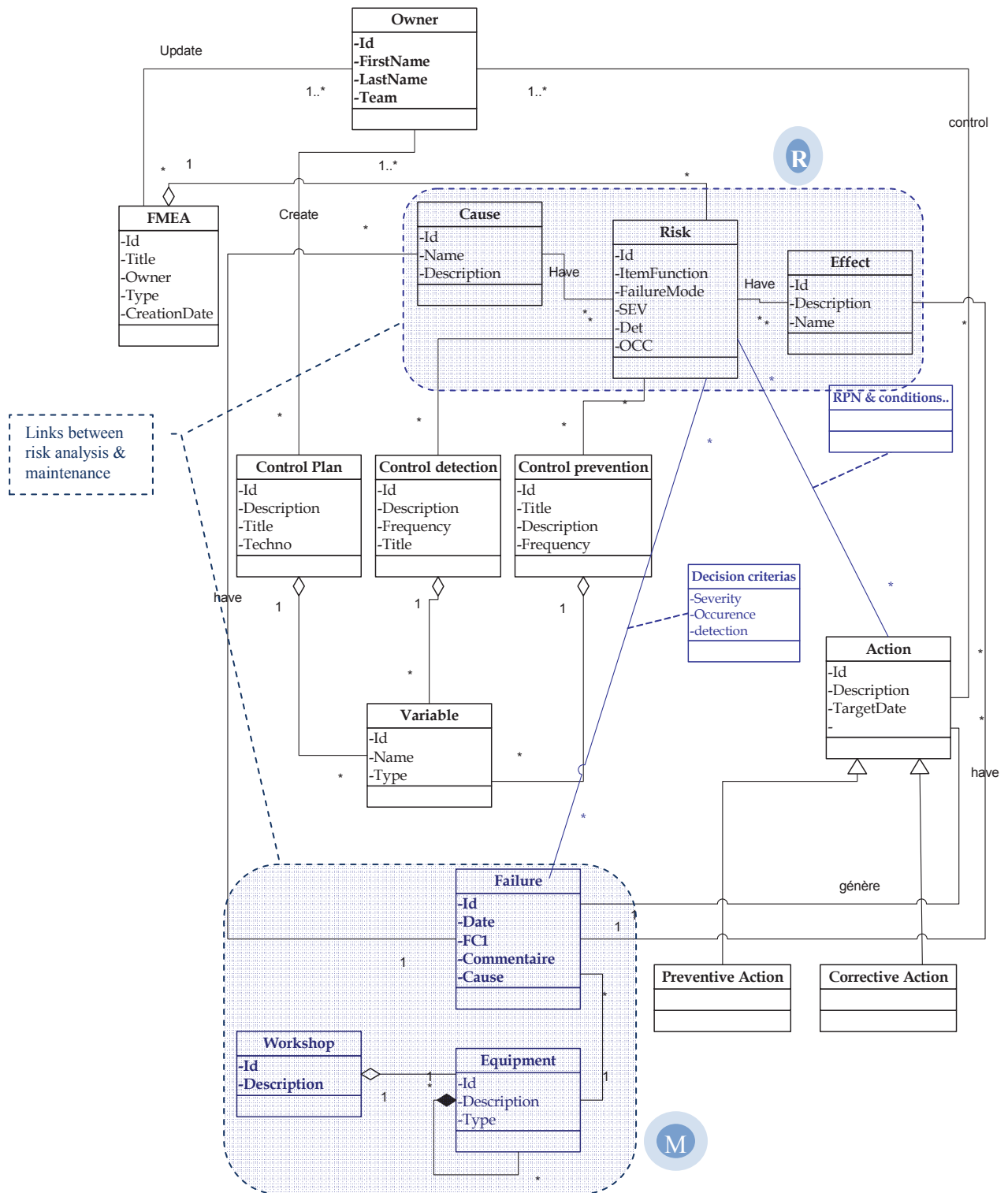


Figure III.6 Modèle de données

Ce diagramme de classes présente deux parties : analyse de risque (R) et maintenance (M). Les liens possibles entre une action de maintenance, action suite à une analyse de risque sont montrés associant panne et risque potentiel. Cette association est présentée sous forme de

classes d'association (*Decision criterias, RPN&conditions*). Les critères sont, comme développé précédemment, la sévérité R_s et l'occurrence R_o .

Un prototype a été développé pour l'import des données depuis la base de données Xsite, le traitement et classification des risques et la mise à jour de la base de données des risques. Développé avec le langage Visual Basic, il permet de classer les données selon l'atelier concerné, le type d'équipement et le bloc concerné (Annexe 5).

6- Application opérationnelle

Le déploiement de cette approche permet une mise à jour de la base des risques de façon régulière en utilisant les événements (pannes machines) enregistrés chaque semaine. Deux cas de figure pour la mise à jour de la base des risques sont possibles :

a. Mettre à jour l'évaluation d'un risque déjà existant dans la base:

Dans ce premier cas, l'apparition d'un événement déjà répertorié dans la base des risques déclenche la réévaluation de son occurrence et/ou sévérité. L'occurrence d'un risque peut varier en augmentant ou en baissant, par contre la sévérité ne peut qu'augmenter comme la criticité d'un risque est évaluée sur l'effet le plus conséquent. Cette mise à jour est effectuée mensuellement et les cotations peuvent être modifiées par les ingénieurs responsables de l'équipement en question. Les risques ayant dépassé la limite autorisée doivent être alors traités et des actions sont obligatoires dans ce cas. L'utilisation des FMECA de cette manière, leur donne un caractère opérationnel et permet une supervision continue de l'état de l'équipement.

Un cas particulier dans la mise à jour de l'évaluation du risque : si l'événement associé n'apparaît pas pour une période significative. Sa valeur d'occurrence baisse automatiquement et ce risque sera supprimé de la base une fois son occurrence arrive à 2, c.à.d. qu'aucun événement n'a été enregistré depuis une année. Dans le cas d'une réapparition de cet événement, il sera traité comme nouveau risque (paragraphe suivant).

b. Ajouter un nouveau risque dans la base :

Ce second cas fait suite à l'apparition de nouveaux événements non répertoriés dans la base des risques et dont l'évaluation de leur sévérité et occurrence dépasse le seuil minimum pour être considérés comme risques potentiels ($R_s \cdot R_o > \text{seuil}$). Dans ce cas, une nouvelle ligne pré-remplie est insérée dans la base des risques. Quatre éléments du risque sont rajoutés automatiquement : Item/Function, Potential Failure Mode, sévérité et occurrence. Le reste des informations (détection, actions...) est à compléter par les experts et les cotations sont à vérifier également.

Avec ces deux principes de mise à jour, le niveau de risque calculé est fonction du comportement des machines. Le risque devient un indicateur principal sur l'état potentiel de l'équipement et les plans préventifs sont adaptés en conséquence.

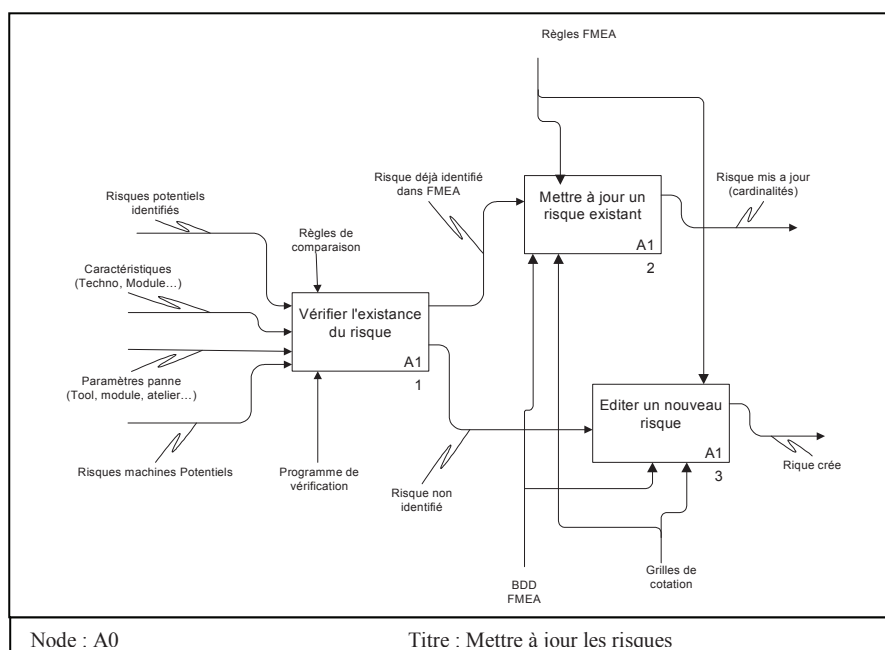


Figure III.7 Idef0 – Mise à jour des risques

c. Adapter les grilles de cotation en fonction de la durée de collecte des données

La cotation du niveau de risque est calculée sur la base de grilles définies en général en fonction du domaine industriel ou fixées par l'entreprise. Dans le cas STMicroelectronics, des grilles pour les risques machines, recette et technologie ont été définies par le service qualité ST corporate (Annexe 2). Le Tableau III.1 présente une grille d'occurrence de 1 à 10 en fonction du nombre d'apparition des évènements.

RANK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OCCURRENCE	UNLIKELY	1EVENT/ LIFETIME	1EVENT/ YEAR	1EVENT/ QUARTER	1EVENT/ MONTH	1 EVENT/ FORTNIGHT	1EVENT/ /WEEK	1EVENT /DAY	1EVENT/ SHIFT	1EVENT /HOUR

Tableau III.1 Occurrence grid (corporate)

Pour les calculs de sévérité et occurrence, les grilles ont été adaptées en fonction de la collecte des évènements. Notre temps de collecte des données maximum est de douze mois glissants. Mais pour un évènement qui vient d'être détecté on ne peut pas lui appliquer la cotation sur une année pour ne pas sous estimer ses valeurs d'occurrence et de sévérité.

Exemple : pour un évènement E, qui apparaît entre 2 et 3 fois pour le premier mois (M01) son occurrence a pour valeur 7 sur la grille (colonne1, ligne3). Le mois suivant (M02), si E n'as pas d'occurrence sa valeur baisse de 7 à 6 (colonne2, ligne3) ; Et dans le cas contraire, si E

enregistre d'autres occurrences, sa valeur augmente et passe dans le niveau supérieur (entre 4 et 30 évènements) et sa cotation passe à 8 (colonne3, ligne4).

Le Tableau III.2 montre la matrice de calcul d'occurrence sur une période de douze mois partagés en six grades en fonction du nombre d'évènements.

	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12
≤ 1 EVENT	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
≤ 2 EVENTS	6	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4
≤ 4 EVENTS	7	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	4
≤ 30 EVENTS	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
≤ 90 EVENTS	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
≤ 720 EVENTS	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9

Tableau III.2 Occurrence matrix on a period of 12 months

Cette matrice permet de classer les nouveaux évènements enregistrés et leur affecter la valeur adéquate pour l'occurrence. Et si un évènement est dans la base depuis plus qu'un an c'est la grille standard qui lui sera appliquée et si aucune occurrence n'est enregistrée depuis un an et plus (occurrence = <2), le risque associé sera supprimé de la base comme indiqué précédemment.

IV. Cas d'application :

Pour l'application de l'approche proposée RBMd, l'atelier « photolithographie » a été choisi comme pilote pour le test et l'évaluation des résultats. Le rôle de cet atelier est de définir à la surface d'un substrat les zones à implanter ou à graver. Trois étapes sont nécessaires pour la réalisation de cette opération. La Figure III.8 montre la succession de ces trois étapes :

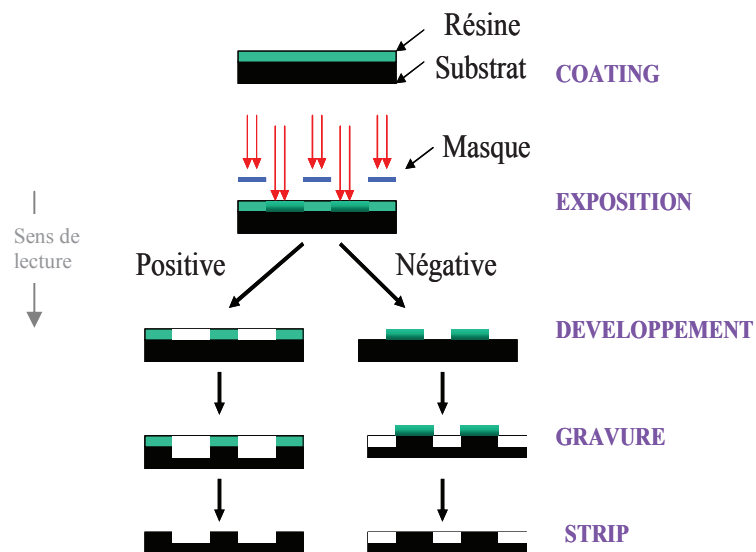


Figure III.8 Les différentes étapes de la photolithographie

- La première étape consiste à étaler une résine photosensible.
- La seconde étape est l'insolation de cette résine par un laser aux endroits où elle n'est pas protégée par le masque. Ce dernier est composé d'une plaque de quartz contenant du chrome opaque aux radiations lumineuses. Il définit les surfaces du substrat qui doivent subir un traitement spécifique (gravure ou implantation) tout en délimitant les zones qui ne nécessitent pas de traitement et qui seront protégées par la résine.
- La troisième étape consiste au développement de la résine : la résine qui a été transformée.

1- La structure des données risques et les données des pannes

Une étude des structures des données risques et pannes a été réalisée pour mettre en évidence les liens présentés en III.3. Dans le système de gestion de maintenance en salle blanche, chaque panne est associée au module de l'équipement. Pour la cohérence entre les structures des données, la base FMECA a été adaptée afin de définir une analyse de risque par module d'équipement. Les risques sont alors classifiés par type de machine et par module.

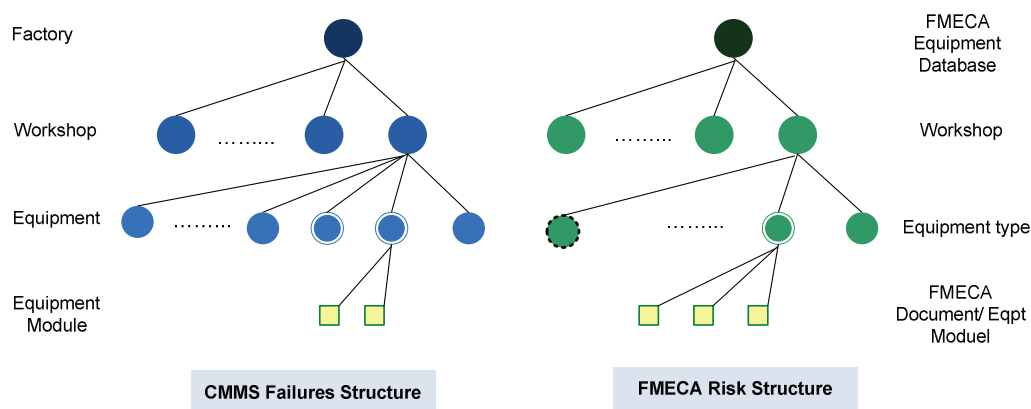


Figure III.9 FMECA vs Equipment classification

La Figure III.9 montre la classification des risques qui est faite par atelier et équipement type. Cette structure permet d'évaluer l'impact de chaque panne vis-à-vis des équipements similaires et de lui associer la valeur du risque la plus appropriée.

2- La maintenance des équipements lithographie

Les équipements de photolithographie qui réalisent cette opération appelés « Clusters », sont classés parmi les plus complexes de la salle blanche. Plus de 3000 alarmes sont référencées pour ces machines qui sont composées de 70 robots appelés modules d'équipement. Un cluster est composé de deux parties : la piste appelée « track » qui permet de traiter la résine et le « scanner » où la résine est exposée. L'approche a été appliquée sur les tracks.

Toute intervention de maintenance, préventive ou corrective, est enregistrée dans la base GMAO. Les techniciens de maintenance ont à leur disposition des gammes d'interventions « check lists » qu'ils doivent suivre pour toute intervention et faire valider par l'ingénieur responsable de la machine. Dans la base de données de maintenance, chaque intervention est caractérisée par l'atelier, l'équipement, le module, deux codes d'identification de la panne (Failure code 1&2) et les commentaires. Les codes FC1 et FC2 correspondent respectivement à la fonction impactée du module et au mode de défaillance constaté. La durée d'intervention est calculée par rapport aux dates d'arrêt et de redémarrage de la machine.

Une étude complète de la structure des données de pannes ainsi que celle des FMECA a permis l'identification des incohérences entre la réalité des équipements et les analyses de risques déjà réalisées. Avant le déploiement, une revue des codes de pannes (Failure Codes) a été nécessaire pour éliminer les possibilités d'erreurs dans la saisie des rapports. Ce travail a nécessité une mise à jour dans la base de données de maintenance et a montré par la suite l'effet sur la qualité de l'information.

3- Implémentation de l'approche

Le test de l'approche a été réalisé à l'aide d'un programme VB (extrait en Annexe 5) structuré en quatre fonctions :

- i- Collecte des données de maintenance et classification par module et type d'équipement.
- ii- Calcul de la sévérité et de l'occurrence correspondante pour chaque panne.
- iii- Intégration des résultats dans une table intermédiaire.
- iv- Sélection des risques ayant un produit $RS \cdot RO \geq \text{seuil}$ et les intégrer dans la base de risques sous la FMECA correspondante ou mettre à jour les risques existants.

Les fonctions de collecte de données et de calculs sont exécutées de façon hebdomadaire. La sélection des risques critiques et la mise à jour de la base FMECA sont mensuelles. Pour le calcul du seuil limite R_{po} , une matrice a été établie (Tableau III.3) montrant le produit $R_s \cdot R_o$. Pour les cas où R_{po} dépasse la valeur 40 un plan d'actions doit être défini pour prévenir le risque.

Occurrence : Ro	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sévérité : Rs										

Tableau III.3 Calcul de la limite $R_{po} = R_s * R_o$

Les risques jugés 'critiques' sont séparés, dans cette table, des risques 'faibles' par une limite qui permet de décider ou non des actions à mettre en place. Cependant, les risques proches de cette limite, représentés dans le tableau avec rayures, sont à vérifier par les experts. Dans d'autres cas où la sévérité ou l'occurrence est élevée (Panne très fréquente ou très pénalisante), les risques doivent être évalués avec le critère RPN pour intégrer la détection.

L'exemple qui suit montre le déroulement de ces étapes pour un des modules (Load port) de la machine. Ce module permet de faire le lien entre l'espace externe (salle blanche) et l'intérieur de l'équipement où la plaque sera traitée. Deux machines sont prises en compte : L193 et L248. Ces deux machines possèdent respectivement cinq et trois load ports. L'arrêt de l'un de ces modules n'engendre pas l'arrêt total de la machine mais une perte de temps de cycle car on ne peut plus charger des lots à partir de ce module.

Dès les premiers résultats de l'analyse, un nombre important de risques a été enregistré avec des occurrences élevées et de faibles valeurs de sévérité. Ceci s'explique par des pannes de courte durée mais avec beaucoup d'occurrences. Ces pannes engendrent une perte au niveau disponibilité machine pas très significative pour une seule occurrence mais, cumulée sur un mois, elle devient critique, ceci sans prendre en compte le temps de mobilisation des techniciens pour chaque intervention. Ce type de panne n'est pas traité en priorité par la maintenance car il passe au travers des analyses qui se font toutes les semaines et qui ne peuvent pas le détecter. Le cas développé par la suite montre l'intérêt de cette approche dans la détection et l'évaluation optimale des risques machines.

Pendant l'étape de chargement d'un Foup (caisse contenant les plaquettes à traiter), si le foup est mal positionné sur le support du Load port, il sera rejeté et le module arrêté. Un technicien de maintenance doit être appelé pour trouver la cause et redémarrer le module. Le temps d'arrêt est généralement faible mais il dépend de la disponibilité du personnel. Cette panne n'a pas été considérée jusqu'à présent critique et elle n'apparaît pas non plus comme risque potentiel. Il suffit à chaque fois de redémarrer le module mais aucune action préventive n'a été pensée.

Workshop	EqpmentName	Door	WO_FC1	WO_FC2	BegDate	EndDate
LITHO	L193T03_P1	0,03	LOAD_UNLOAD	DOCK_UNDOCK	2007/06/08 02:29:24	2007/06/08 02:31:35
LITHO	L193T03_P1	0,38	FIXLOAD_A	FOUP	2007/06/07 00:35:02	2007/06/07 00:58:10
LITHO	L248T05_P3	0,15	LOAD_UNLOAD	DOCK_UNDOCK	2007/06/07 08:08:28	2007/06/07 08:17:14
LITHO	L248T02_P3	0,12	LOAD_UNLOAD	FOUP_SENSE	2007/06/05 04:00:01	2007/06/05 04:07:51

Tableau III.4 Extrait des données de la base GMAO

Avec l'approche d'analyse proposée, on regroupe toutes les pannes provenant du même type d'équipement, ce qui permet de mesurer l'impact et le risque réel pour un atelier donné. Le Tableau III.4 montre un extrait des données issues de la base de maintenance pour des équipements de même type (L193 et L248) et des modules différents (_P1 et _P3). Le nom de l'équipement (EqpmentName) contient le code de l'équipement (Ex L193T03) et le numéro du module en question (Ex : _P1 pour le load port numéro1). Les colonnes 4&5 définissent la panne par la fonction impactée (WO_FC1) et le mode de défaillance (WO_FC2). L'analyse de ces données collectées permet de quantifier pour chaque type de panne son impact.

Workshop	Eqpt	Module	Item function	Failure mode	Number of occurrences	Total downtime
LITHO	ACT12	LOAD PORT	LOAD_UNLOAD	DOCK_UNDOCK	8	4.92 h

Tableau III.5 Quantification de l'impact des défaillances

Le Tableau III.5 montre l'impact de ce type de panne pour toutes les machines de même type (sortie de la fonction 3 du programme VB) durant une semaine. Les codes représentant les équipements sont remplacés par le type d'équipement (colonne2 : ACT12) et le module en question (colonne3 : LOAD PORT). En correspondance avec les grilles de cotation, le niveau du risque est estimé en niveau d'occurrence à 8 (entre 4 et 30 événements pour le premier mois) et une sévérité à 3 (une moyenne d'arrêt de 37 minutes = 4h92/8). Ce risque a été déjà répertorié dans la base FMECA mais n'est pas considéré critique car son RPN = $R_s \cdot R_o \cdot R_d = 2 \cdot 7 \cdot 8 = 112$ est en dessous du seuil de déclenchement des actions chez STMicroelectronics (fixé à 125).

Item/Functi on	Potential Failure Mode	Potentia l Effects of Failure	SEV	Potential Cause/ Mechanism of Failure	OCC	Current Control Prev	Current Control s Detecti on	DET	RPN
LOAD_UNLOA D	DOCK_UND OCK	No wafers loading , no process	3	Foup not well positioning Air cylinder failure Solenoid failure	8	NA	UNSCHED ULED MAINTEN ANCE	8	192

Figure III.10 Extract of FMECA load port module.

La mise à jour de ce risque (quatrième fonction du programme) montre que le RPN passe de 112 à 192 (Figure III.10). Une action de maintenance préventive a été mise en place pour tous les load port consistant à étalonner les capteurs de position en fonction des dimensions des foup. Suite à cette modification des plans préventifs, l'occurrence de ces pannes a baissé pour atteindre la valeur 4 avec RPN= 96.

Cet exemple montre un cas de dérive d'équipement de production qui n'est pas prise en compte par les ingénieurs. Le cumul des temps d'arrêt sur une période courte (temps d'évaluation des pannes chez STMicroelectronics est d'une semaine) ne permet pas de classer ce type de pannes comme critique. Avec cette méthodologie et l'estimation des risques à base d'une année d'historique, ces défaillances seront désormais mises en avant et ne peuvent être déclassés que sur décision des experts.

4- Résultats

Le déploiement de cette méthodologie dans l'atelier lithographie sur une période d'un an (Figure III.11), montre une augmentation forte du nombre des risques analysés (+ 250%). Le nombre de risques prioritaires a également augmenté et de nouvelles FMECA ont été créées. Ceci montre l'évolution dans la maîtrise du niveau du risque pour les équipements et permet de pointer les blocs d'équipements les plus critiques. Suivre également le paramètre $R_{po} = R_s \cdot R_o$ permet de cadrer un nombre de risque à faible détection mais aussi avec un impact non négligeable. Un retour auprès des utilisateurs de ce prototype montre un autre résultat qualitatif sur les données des FMECA et sur l'aspect mise à jour. On parle aujourd'hui de FMECA image de l'équipement et une évolution des actions et du niveau de risque en parallèle avec celle de l'état de l'équipement.

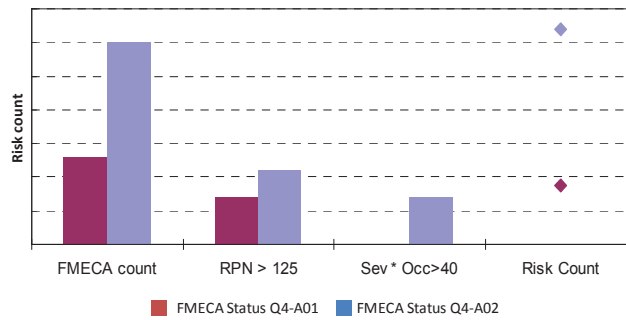


Figure III.11 Evolution du niveau de risque (Atelier Litho)

La restructuration des analyses des risques (Figure III.12) en fonction de la gestion des pannes a montré son apport en termes de simplification de la démarche des experts et leur accès aux données. Partant d'un seul document qui regroupe l'ensemble des risques de tout l'atelier, de nouvelles FMECA ont été rajouté suite à l'identification des risques pour chaque type de machines.

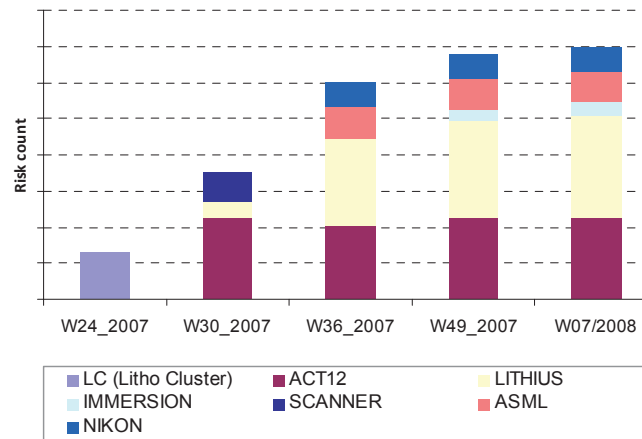


Figure III.12 Restructuration des risques (Atelier Litho)

Le déploiement de la RBMD sur cet atelier pilote pointe l'importance de l'analyse avancée de l'historique des équipements et son rôle pour identifier les risques. Présenter une analyse préliminaire aux ingénieurs facilite leur tâche et leur permet de travailler sur des données issues d'évènements réels.

Les résultats de ce déploiement en termes d'amélioration de la disponibilité des équipements est illustré par une baisse du nombre des pannes et ainsi des temps d'arrêts. L'exemple du module Load_Port (Figure III.13) montre le gain en termes de disponibilité.

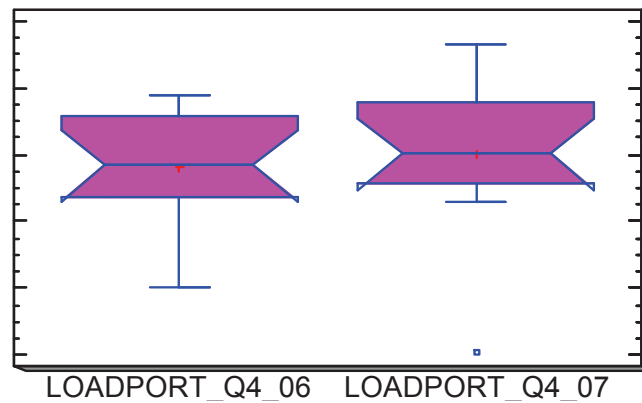


Figure III.13 Variabilité du downtime pour les Load_Port

La comparaison de la variabilité des temps d'arrêts avant et après la mise en place de l'outil, montre une amélioration de 1% sur la médiane et 2% sur la dispersion, ce qui représente un gain moyen de 21.6 heures par Load_Port sur une période de trois mois. Ces pourcentages faibles s'expliquent par la durée moyenne de ce type de défaillance. Mais son occurrence élevée, sachant qu'il y'a plus de 180 équipements équipés de Load port dans la salle blanche et que le coût de mobilisation moyen est compris entre 200\$ et 400\$, ces résultats signifient un gain très important au niveau de la rentabilité et du temps de cycle. Un plan de maintenance préventive a été déployé pour le réglage des load port, ce qui a minimisé ces arrêts et laissé plus de temps aux techniciens de maintenance pour d'autres tâches.

Le niveau de risque s'est stabilisé après la forte augmentation constatée au début du pilote (due à l'ancienne politique de gestion des risques). Un travail de fond a été réalisé pour ajuster les évaluations des risques et définir les actions nécessaires. La mise à jour dynamique des risques équipement devient un outil opérationnel de suivi de l'état des machines et un indicateur sur les priorités d'interventions.

V. Conceptualisation de l'approche pour toutes les données de production

L'approche présentée dans la section précédente montre que l'utilisation des analyses de risques de façon dynamique permet d'améliorer les plans d'actions de maintenance. La FMECA est alors un outil d'aide à la décision pour supporter les acteurs opérationnels dans leur quotidien. Utiliser l'historique des équipements pour tracer leur variabilité permet d'identifier les points critiques et ainsi anticiper les risques potentiels.

Malgré le fait que les dérives équipements soient le premier rétracteur du rendement et temps de cycle, d'autres dysfonctionnements liés aux gammes de fabrication (recettes), qualité de design du produit et au processus de fabrication impactent significativement les objectifs de la production.

1- Modélisation des sources d'évènements en entreprise

En continuité avec ce qui a été proposé pour gérer les priorités des actions de maintenance, il s'agit de généraliser cette proposition afin qu'elle soit applicable pour toute activité de l'entreprise : qualité, Recherche & Développement, process...

La majorité des entreprises sont dotées aujourd'hui d'un système d'information, ce qui n'exclut pas que chaque entité gère ses données et règles d'identification des événements de manière différente. La gestion des actions et des risques est également dépendante des méthodes utilisées et objectifs de chaque entité. La revue de littérature sur les pratiques industrielles montre que la gestion des risques et leur codification ne sont pas standardisées et sont très dépendantes de l'expertise humaine (Aven & Heide 2009). La nature des méthodes d'analyse de risque, qui demandent du temps et des ressources, rend la tâche des experts difficile et ils ne la considèrent pas parmi les tâches prioritaires. C'est pourquoi ces analyses deviennent obsolètes avec le temps et ne reflètent pas dans la majorité des cas la réalité de l'entreprise. La question est comment améliorer l'analyse de risque pour ces différentes entités par une utilisation des événements enregistrés durant le cycle de production?

Il s'agit, comme proposé précédemment, de minimiser au mieux l'intervention humaine dans les premières étapes de l'analyse (identification et évaluation) et de baser le risque sur l'évènementiel.

Pour faire le lien entre formalisme risque (**R**) et événement (**E**), il faut définir les points de similarité entre définitions d'évènements et identification du risque ainsi que ses critères d'évaluation.

$$E \begin{cases} De \\ Eo \\ Es \end{cases} \quad \begin{matrix} Link ? \\ \Leftrightarrow \end{matrix} \quad R \begin{cases} Dr \\ Ro \\ Rs \\ Rd \end{cases}$$

Les processus de gestion des actions actuels séparent l'évènementiel et les actions préventives. Analyser les risques liés à un produit, une machine ou à un processus, revient à définir les points d'amélioration et les plans d'actions associés.

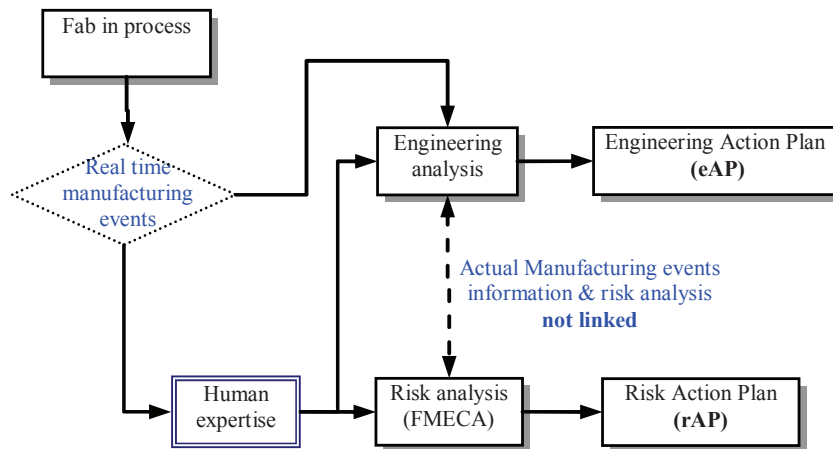


Figure III.14 Processus actuel du management des actions

La Figure III.14 montre le processus général de management des actions au sein d'une organisation. Les actions décidées suite à un dysfonctionnement (**eAP** : engineering Action plan) sont identifiées par les experts en se basant sur la nature de l'évènement et les causes identifiées. D'autre part, le principe des analyses préliminaires de risque réside dans l'aspect préventif des interventions. Dans ce cas, l'estimation des effets doivent être les déclencheurs d'un plan d'action (**rAP** : risk Action Plan). Donc le processus de gestion des AP (Action Plan) contient deux flux d'actions gérés séparément :

$$AP \Leftrightarrow \sum_{j=0}^n eAP_j \text{ XOR } \sum_{k=0}^n rAP_k$$

Ces plans d'action sont supposés améliorer le temps de cycle, les coûts et le rendement. Mais bien qu'ils soient basés sur des critères de criticité (sévérité et/ou occurrence), leur gestion des priorités est généralement délicate à cause de la diversité des objectifs. Le management doit alors trancher, en se basant sur l'expertise et les objectifs opérationnels...

2- Lien entre analyse de risque et gestion des problèmes.

a. Modèle commun pour maintenance qualité et R&D

L'idée est alors de converger vers un seul plan d'action qui regroupera les analyses préliminaires des risques et l'historique des évènements de production. Le but est de présenter un tableau de bord des évènements, leur historique, les risques associés et définir ainsi les plans d'actions en fonction de ces paramètres. Avec cette méthode, on tend à minimiser le nombre d'interventions correctives (générant des coûts très élevés) et améliorer de façon continue les plans préventifs (actions préventives).

$$AP \Leftrightarrow \sum_{j=0}^n eAP_j \text{ AND } \sum_{k=0}^n rAP_k$$

Le plan d'action qui en résulte (AP) est basé simultanément sur une expertise humaine et un traitement des données des événements. Utiliser la gestion des risques comme une entrée pour développer des points préventifs et en plus se baser sur un historique de faits réels permet de minimiser la divergence des plans.

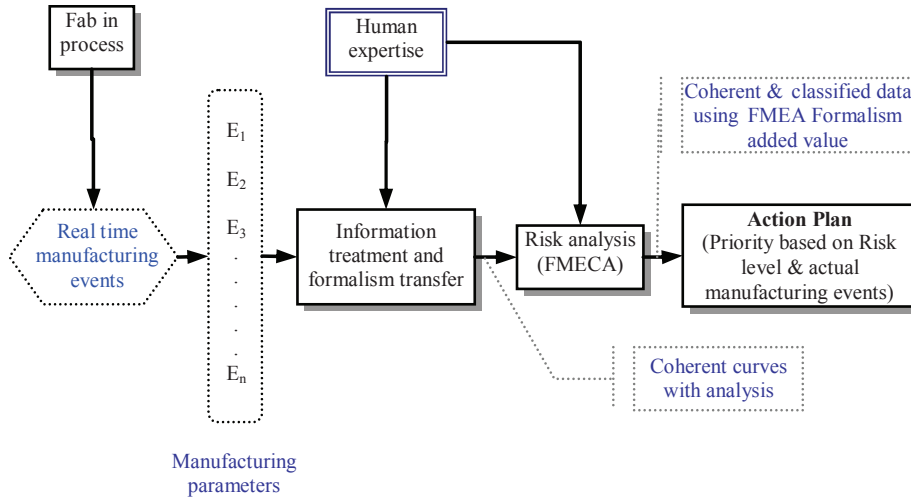


Figure III.15 Processus proposés pour la gestion des plans d'actions

La Figure III.15 montre le flux des données à l'entrée des plans d'actions. Cette approche est basée sur la gestion liée aux connaissances de risques et sur les paramètres de production. Etablir un plan d'action devient ainsi un processus complet et fortement dépendant de l'état actuel du produit, processus ou équipement. La valeur ajoutée de l'expertise humaine sera consolidée par une étude préalable des causes *détectées*, des effets *ré-estimés* et des solutions *intermédiaires*.

Utiliser ce processus facilite la tâche des experts et améliore la qualité des actions. Mais la question à se poser est : *comment définir les paramètres clés à suivre pour chaque famille et type d'actions ?* C'est ce qui est présenté dans la Figure III.15 par le vecteur d'événements en entrée $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$. Dans le cas de la maintenance, ces paramètres sont les pannes machines et les comptes rendus associés. Pour la non-conformité produit dans le cas de STMicroelectronics, on peut suivre les informations des 8D.

Mais pour généraliser cette procédure quel que soit le type d'information et la source de données, le modèle doit être adapté pour les variantes produit, processus et équipement.

b. Modèle d'objet et liens entre risque, événements et plans d'actions:

La notion de risque est introduite pour identifier un événement *potentiel* indésirable, affectant un des objectifs opérationnels. Comme présenté dans le modèle Figure III.16, à un risque (*Potential_Undesired_Event*) est associé une partie du processus de production (*Equipment*,

Product, and Process_Step). Et pour chacune de ces parties, les experts doivent estimer le niveau de risque (*Risk_Evaluation*) et définir les actions nécessaires (*rAP*). Des moyens de contrôle sont alors à adapter (*Process Control Tools*) pour chaque partie du processus (*Process_Parts*) pour améliorer la détection et minimiser l'occurrence de ces événements (*Detected_Manuf_Events*). L'exemple détaillé dans le paragraphe 4.c de la section précédente montre une divergence entre la décision des experts et la réalité des événements, le résultat étant des plans d'actions différents (eAP et rAP) malgré un objectif commun.

Les systèmes de production actuels sont dotés de moyens de contrôle, d'analyse des données et d'aide à la décision (*Process control tools* : Statistical Process Control (SPC), Fault Detection and Classification (FDC), plans d'expériences...). Ces moyens et méthodes portent les ingénieurs à évaluer le fonctionnement de leur processus et classer les événements par leurs origines. Les plans d'actions opérationnels (eAP) sont basés sur ces données (*Detected_Manufacturing_Event*) et dépendent de la qualité de traitement de l'information (durée, fonction objectif, paramètre de collection...).

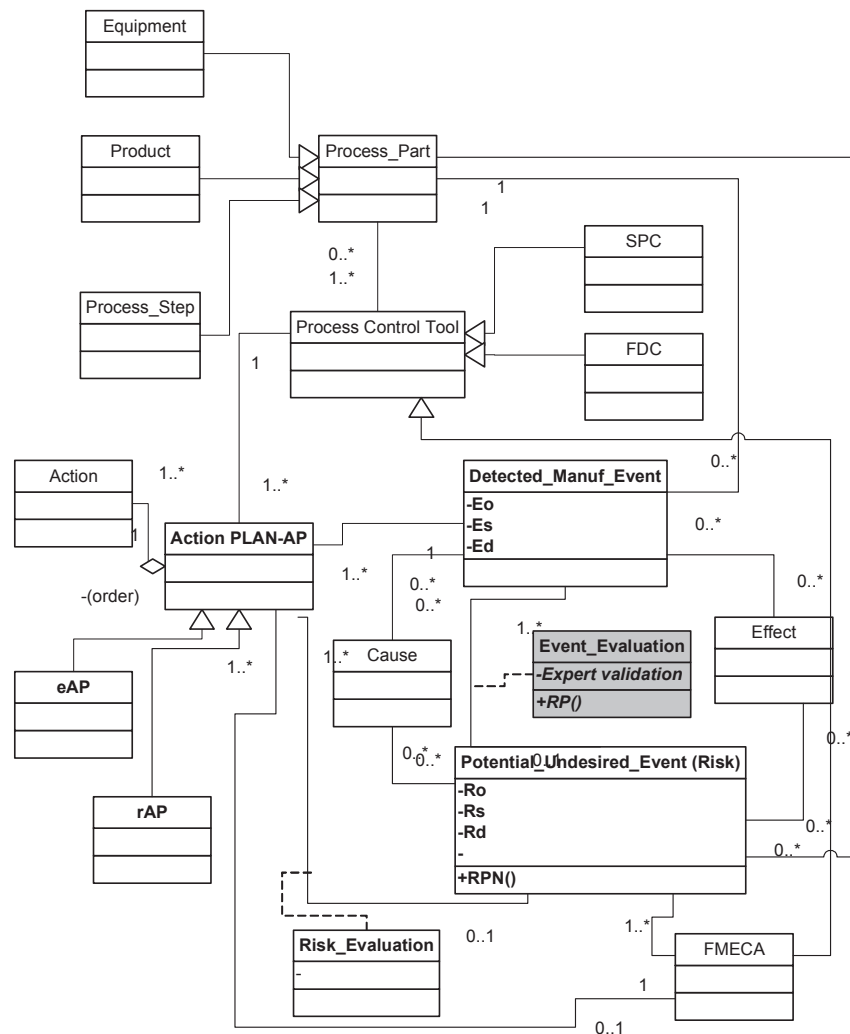


Figure III.16 Modèle de données pour la gestion des risques et événements

L'objectif central des analyses de risque est de prévenir ces dysfonctionnements et de définir les actions préventives adéquates. Le risque, s'il est produit et détecté, correspond à un évènement indésirable. C'est pourquoi évaluer les liens qui peuvent exister entre risques (Potential_Undesired_Event) et évènements détectés (Detected_Manufacturing_Event) permet de créer une cohérence entre l'historique d'une partie du processus et l'estimation de ses dérives au futur. Ceci permettra de converger vers des décisions plus efficaces et d'optimiser le travail des experts par la génération de plans d'actions communs (Action Plan-AP). Notre proposition consiste à développer une approche et un outil pour créer cette cohérence et assister les experts pendant la phase de décision (Event_evaluation). Chaque évènement sera analysé et classé dans un premier temps par rapport à son origine (produit, processus ou équipement). Des données issues des moyens de contrôle sont également à intégrer afin de calculer l'occurrence et la sévérité de chaque évènement. Comme présenté dans la section précédente, le produit $R_{po} = R_s * R_o$ est utilisé comme critère d'évaluation pour l'intégration ou non d'un évènement dans la base des risques.

Comme pour le cas de la maintenance, la base des risques pour produits (appelées Techno) et processus (Recipe) est déjà mise en place. Cet outil permet de la mettre à jour et de l'utiliser comme moyen de gestion des plans d'actions.

La réalisation du modèle UML a mis en évidence la possibilité de faire converger en un seul plan d'action (AP) les analyses préventives des risques et l'historique des dysfonctionnements équipements. Il est ainsi possible de présenter un tableau de bord de l'état des équipements, produit et processus au travers d'une base d'analyse de données simplifiant l'accès à l'historique des événements et actions. Par la prise en compte continue des actions liées aux aspects préventifs on pourra minimiser le nombre des interventions correctives associées aux coûts très élevés.

VI. Conclusion

L'apport de cette étude est la proposition d'une méthodologie outillée d'aide à la décision et de gestion des retours d'expérience. Elle permet d'assister les experts pendant les deux phases d'identification et d'estimation des risques. Elle consiste à gérer de manière *dynamique* les risques dans un environnement de production. Les finalités recherchées sont les suivantes :

- des liens continus entre les analyses de risques et les évènements de la salle blanche (Atelier de production),
- un outil permettant une analyse approfondie de l'historique des équipements,
- un contrôle continu des risques et des plans d'actions.

Ceci facilitera en premier lieu la mise à jour des FMECA et la capitalisation dynamique des connaissances liées à cette analyse. L'outil devra permettre également dans un premier temps de suivre en temps réel les détracteurs principaux affectant la productivité et le temps de cycle. La création des plans d'actions ne sera plus uniquement basée sur l'expertise

humaine mais aussi sur une analyse approfondie de l'historique des évènements et du niveau de risque associé. Cette étude montre l'intérêt de l'utilisation des analyses de risques pour gérer les plans d'actions. La définition du niveau du risque basée sur l'historique et l'expertise humaine est plus adaptée pour quantifier la sévérité des dysfonctionnements. Ceci constitue une base de connaissance et de retour d'expériences formalisés et réutilisable en cas de besoin. L'outil développé représente une aide pour le traitement des données et un moyen automatisé pour alléger la charge de travail des experts. Il permet également de maintenir la Base de données FMECA à jour afin d'éviter que les données deviennent obsolètes et inutiles.

Des voies d'amélioration de ce travail peuvent être l'intégration de la notion de 'détection' dans le système de management des risques. Une autre perspective également, consistera à la formalisation du processus de gestion des plans d'actions et des plans contrôle dans l'objectif d'uniformiser et d'optimiser leur conception. Le sujet du chapitre suivant porte sur l'unification du processus de gestion des plans d'actions.



Chapitre IV : Unification du processus de gestion des plans d'actions

I. Introduction:

Faire face aux dérives et à la variabilité d'une entité du système de production qu'il s'agisse du produit, processus ou équipement, requiert une démarche structurée, appuyée par les décisions des experts. Chercher la solution *adéquate* (corrective, palliative ou préventive) d'un problème relève de l'optimisation des coûts des actions, leur efficacité et leur nature. La complexité des systèmes de production et des produits fabriqués impose aux industriels de suivre des méthodes de qualité et d'aide à la planification. Un large panel d'approches et de méthodologies (Duret & Pillet 2005) (Crepin & Robin 2001) a été proposé pour assister les industriels durant le processus de décision. Des normes, comme l'ISO (ISO 2005), prescrivent de préciser le processus complet de management des problèmes et de le documenter. Mais pour un opérationnel, le choix entre ces méthodes est loin d'être toujours évident et devient très délicat quand la décision à prendre est urgente. Le chapitre précédent a montré une méthode d'aide à la décision par l'intégration du niveau de risque dans le processus « gestion des défaillances ». La première étape de la proposition a ciblé les actions de maintenance et la deuxième a montré la possibilité de généralisation vers toutes sortes de plans d'actions. L'objectif de ce chapitre est de proposer une méthode innovante qui supporte les opérationnels dans leur quotidien, en partant de l'existant, ceci pour tout type de problème (qualité, processus ou équipement).

Ce chapitre est organisé comme suit : une première partie traite de la gestion actuelle des plans d'actions illustrée par des exemples industriels. La deuxième section met en évidence les liens potentiels entre les approches de gestion des risques FMECA et de résolution des problèmes 8D. La proposition de ce chapitre appelée « RBAP » est développée dans la section suivante en présentant les modèles, contraintes et processus mis en place. La quatrième section montre les étapes de développement de l'approche avec l'étude complète pour un déploiement industriel présenté dans la dernière section.

II. La gestion d'un plan d'actions

1- Définitions

Activité : définit l'action qui a pour objectif de réaliser une tâche. Son exécution mobilise des ressources (possédant des capacités et/ou des compétences), du temps et des méthodes (Mauchand 2007).

Action : une action est une activité qui permet de transformer une entité, un produit ou un moyen d'un état à un autre. La définition d'une action nécessite un minimum d'informations : la ou les causes de dysfonctionnement, l'action nécessaire et les ressources affectées.

Plan d'actions : un plan d'actions est l'ensemble des actions coordonnées et complémentaires en précisant les enchaînements et les priorités entre elles. Il revient à décrire un projet à part entière avec un état initial, intermédiaire et final. Il nécessite des moyens et une durée de réalisation selon un planning rigoureux. Il est défini comme la « feuille de route » qui précise « qui fait quoi » pour la mise en œuvre de décisions (Crepin & Robin 2001).

Processus : les processus (de conception, de fabrication, de contrôle, etc.) représentent une organisation temporelle, spatiale des activités qui font appel à des ressources (ou moyens) et qui conduisent à des produits. (Labrousse 2004)

Ressource : les ressources (matérielles, énergétiques, logicielles ou humaines) sont des moyens qui participent au processus mais qui, contrairement au produit, n'en sont pas la finalité. (Labrousse 2004)

Planning : c'est la définition de la séquence des actions à accomplir. Ses caractéristiques sont : le temps, les objectifs et les moyens (ressources).

2- Méthodes

Les méthodes de gestion des actions ont été largement abordées dans la littérature ((Zu et al. 2008), (Platje & Wadman 1998)). Des études ont été développées pour améliorer le fonctionnement des systèmes de production par l'optimisation des plans d'actions (Aitken 2005), on peut les classer en deux principales catégories :

- des plans d'actions correctifs (après détection de l'évènement),
- des plans d'actions préventifs (avant l'évènement).

Les plans correctifs ont un caractère secouriste, ils sont décidés pour arrêter la défaillance et limiter les pertes. Mais une intervention imprévue engendre toujours des pertes de rendement, de qualité de produit, et éventuellement même des pénalités client très élevées. C'est pourquoi les stratégies de prévention sont largement adoptées en industrie. Ces stratégies ont montré leurs apports en termes d'efficacité et de gain de production. Elles permettent une prévention des évènements indésirables et une sécurisation des moyens et processus de production. Différentes méthodes et approches ont été proposées et certaines

sont couramment déployées à une échelle industrielle. Ces stratégies de prévention se basent sur des outils d'analyse et de qualité. Les diagrammes de Pareto, les histogrammes et les diagrammes de concentration de défauts sont utilisés pour définir des priorités des actions en fonction de la gravité du défaut. D'autres outils comme les diagrammes en arête de poisson (Ishikawa), les analyses de risques (FMECA, Hazop...) (Zhi 1995) et le brainstorming sont axés sur la prévention en traitant des causes potentielles de défauts.

L'utilisation de ces outils dépend du domaine industriel, de l'organisation concernée (qualité, maintenance...) et de la stratégie de l'entreprise. La littérature montre l'intérêt de ces méthodes et leurs applications possibles en industrie (He et al. 2007). Mais ces applications sont, dans la plupart des cas, utilisées de manière indépendante dans les différentes organisations. La divergence des objectifs locaux est la principale cause de la diversification des méthodes et approches déployées.

Organization	Objectives	Tools & Methods	Evaluation
Maintenance (AFNOR 2001) (Savsar 2006) (Duarte et al. 2006)	Minimise failure rate Improve equipments availability Maximise equipments efficiency	Benchmark – CMMS- MTTR-MTBF-Pareto – Ichikawa – FMECA- RBM	Availability – Reliability – maintenance costs
Process Control (Edwards 2005) (R. Di Mascio 2003) (Rita Di Mascio 2002) (Duret & Pillet 2005)	Improve manufacturing process, optimize cycle time, control manufacturing process	SPC – FDC – R2R – FMECA - DMAIC	Cycle time – yield -
Quality (Zu et al. 2008) (Sulek et al. 2006) (ISO 2005)	Guarantee product quality Customer	Audits-5Why – 8D - FMECA	Customer returns – product quality
R&D (Vairaktarakis 1999)(Müller-Glaser & Wolz 1994)	Design product, optimise	8d – FMECA-QFD	Product reliability- Yield- Cost

Tableau IV-1 Exemples d'outils, objectifs et méthodes d'évaluation.

Le Tableau IV-1 montre un résumé des méthodes qualités et outils de résolution des problèmes pour différentes organisations (dans cette classification, on se limite aux cas du système de production). La lecture verticale de cette table montre que l'évaluation des résultats et objectifs diffère selon l'organisation. Le service maintenance est évalué sur la disponibilité des machines et leur performance. Le service contrôle des procédés sur le temps de cycle, la variabilité et le rendement. Les deux dernières organisations qualité et R&D ont comme objectifs respectifs la qualité du produit et sa performance. On remarque que la méthode FMECA est utilisée par toutes les organisations.

Une lecture horizontale montre que chacune des organisations opère de façon locale et limitée. Mais on constate que des méthodes et outils sont utilisés à différents niveaux et de manière parallèle (pas de communication ou échange d'information entre les organisations). Ces quatre organisations du système de production interviennent néanmoins avec une finalité commune : produit de qualité et bénéfice de l'entreprise.

3- Exemple du semi-conducteur

L'intégration des analyses des risques dans les processus de prévention et d'optimisation des plans d'actions est largement adoptée dans l'industrie du semi-conducteur. Bien que son origine soit dans les industries où le zéro défaut est exigé (armée, aérospatiale...), la prise en compte du risque est de plus en plus une nécessité et parfois une obligation. La notion de risque est présente à tous les niveaux, elle est essentielle dans l'estimation des dérives et imprévus lors des processus de conception de la production. Dans l'exemple de l'industrie du semi-conducteur, cette analyse est obligatoire pour valider le passage du produit du stade développement au stade production. C'est l'un des moyens utilisés par les clients pour s'assurer de la performance du produit et également de la capacité de l'industriel à délivrer du volume de façon fiable.

La structure de gestion des risques proposée par (Bassetto & Siadat 2006) Figure IV.1 montre les liens entre ces différentes organisations:

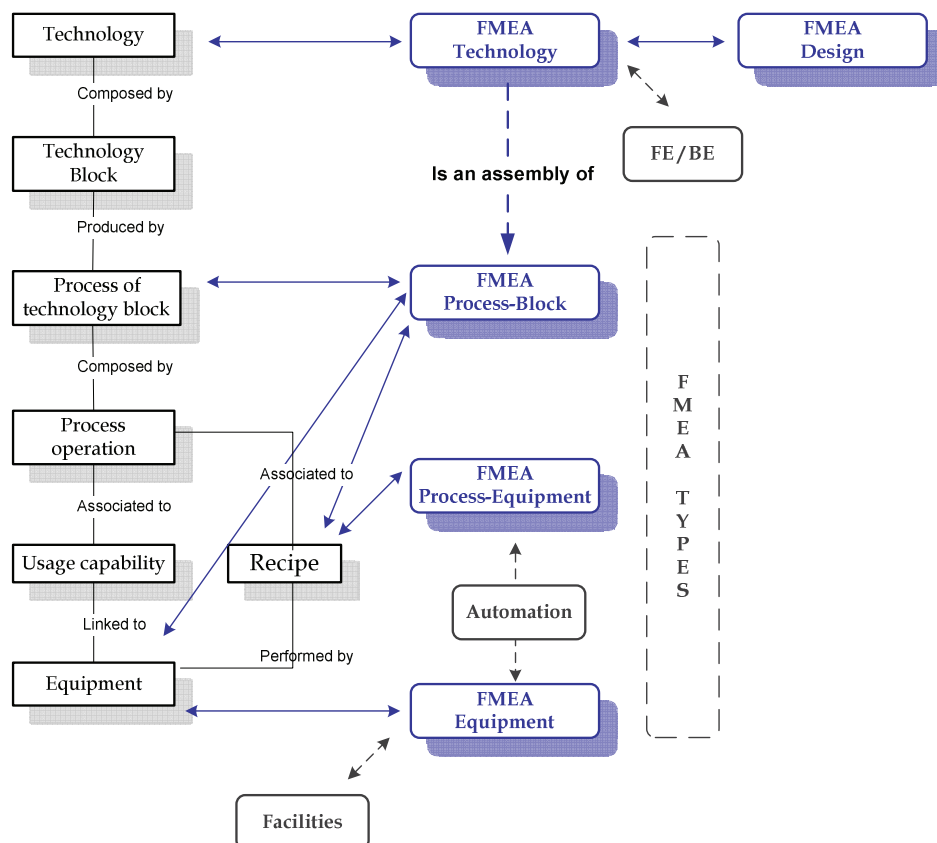


Figure IV.1 Gestion des risques pour une entreprise de semi-conducteurs

L'analyse de risques est sectorisée :

- **FMECA Process-Block** : c'est l'analyse qui concerne les risques du produit,
- **FMECA Process-Equipment** : c'est l'analyse des risques du processus de fabrication,
- **FMECA Equipment** : c'est l'analyse des risques liés au fonctionnement des machines.

Cette approche assure la continuité des liens entre les différentes entités du système de production et la dépendance entre équipement, produit et gamme de fabrication (recette). Une défaillance liée à une machine peut engendrer, outre les pertes en temps de cycle et rendement, des pertes en termes de produits et coûts. Cette défaillance équipement peut être alors la cause potentielle d'un risque produit.

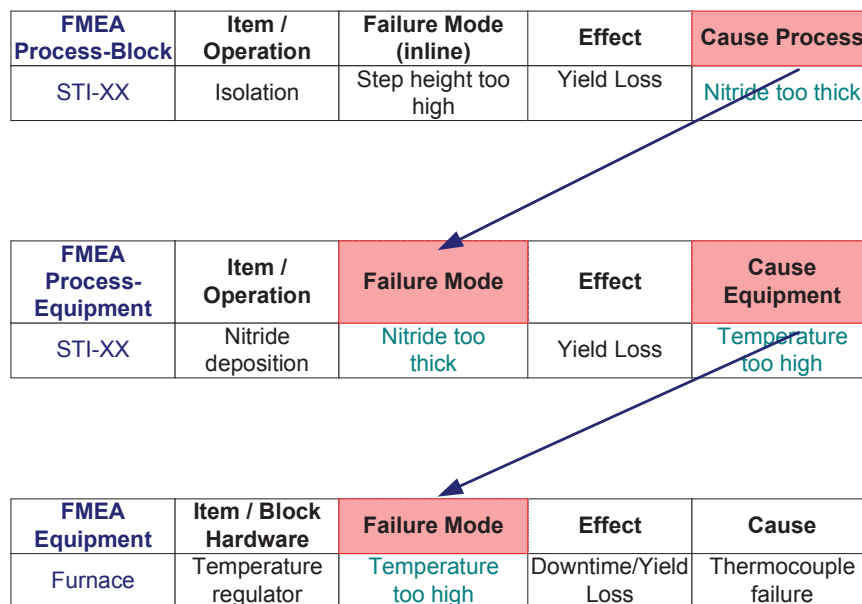


Figure IV.2 Exemple de liens entre les risques sur différents niveaux

Cet exemple (Figure IV.2) illustre les liens entre des analyses de risques à plusieurs niveaux. Lors de l'étape de dépôt de Nitride (dit « déposition » chez l'industriel et dans la suite), une panne du thermocouple sur l'équipement induit une température au-delà des limites. Le résultat est une épaisseur déposée non conforme. Une perte de rendement est constatée au niveau produit qui a comme origine une défaillance de la machine de production.

Des actions sont entreprises à plusieurs niveaux :

Maintenance : Si la température est toujours dans les limites autorisées de l'équipement, aucune intervention n'est effectuée même si la recette est impactée. Si on a un dépassement des limites, une opération de maintenance est planifiée mais il faut penser à recentrer la recette.

Process : Une modification de la recette peut être effectuée : la durée de déposition est modifiée afin d'y remédier, ce qu'on appelle du centrage.

Cet exemple n'est qu'un cas particulier qui montre la forte dépendance entre produit, process et équipement. Ces processus distincts de gestion des problèmes peuvent engendrer

des actions redondantes, inutiles, voire contradictoires et, ainsi, des pertes d'efficacité à tous les niveaux.

L'exploitation des dépendances entre les risques demeure le domaine des experts méthodes qui sont à même d'identifier les liens entre les types Process-Block, Process-Equipment et Equipment. Des voies d'amélioration ont été identifiées et pourraient faire l'objet de recherches ultérieures.

4- Besoins...

Comme pour tout domaine où l'information est centrale, une bonne communication et des échanges réguliers permettent d'optimiser le fonctionnement et d'améliorer le retour d'expériences. Dans le domaine industriel, diverses et nombreuses sont les approches et méthodes d'intégration et d'interopérabilité des systèmes. Leur objectif est de faciliter le transfert d'information et d'améliorer le processus de décision. Mais la complexité des systèmes de production et des technologies utilisées requièrent des outils robustes et des méthodes communes pour simplifier le processus de gestion des actions. (Crepin & Robin 2001) : « *Jamais les problèmes qui se posent aux responsables au sein des organisations n'ont été aussi nombreux et complexes qu'aujourd'hui, ni plus grand le besoin d'instruments pour les traiter efficacement* ».

Notre objectif ne se limite pas à faire communiquer les organisations mais à définir un processus global, commun et unifiée qui appuie les décisions. La question centrale est : *Comment unifier la gestion de toutes les actions de l'entreprise au sein d'un processus unifié, dynamique et commun ?*

De cette question découlent des besoins en termes de modélisation, de structure d'information, d'outil utilisés et des possibilités d'intégration. Unifier la gestion des plans d'actions revient à proposer un processus commun qui prend en compte tout type d'interventions au sein de l'entreprise. Qu'il s'agisse de maintenance, de qualité ou de process, il doit répondre aux attentes de l'organisation et doit être également cohérent avec la politique déjà implémentée. Ce processus vise à intégrer les outils des opérationnels et les méthodes qualité afin de converger vers une démarche ou méthodologie commune de résolution des problèmes.

Dans notre proposition on s'intéresse à deux méthodes particulières de gestion des plans d'actions et des risques : 8D et FMECA. Ces deux méthodes actuellement déployées chez STMicroelectronics seront utilisées pour développer un processus commun joignant décision et niveau de risque associé.

III. FMECA vs 8D

Le chapitre précédent a présenté le processus d'intégration du niveau de risque dans la gestion des priorités des actions de maintenance. L'utilisation de l'historique des événements a permis une identification dynamique des risques et leur intégration dans la gestion des

priorités. La généralisation pour d'autres sources d'information, comme les sorties des processus qualité a été esquissée.

La méthode de gestion des risques FMECA est utilisée pour identifier les risques et les actions associées. Elle a un caractère préventif permettant d'estimer les dérives possibles d'une ou plusieurs parties du processus. Les méthodes de gestion des problèmes comme les analyses des causes racines (Crepin & Robin 2001), ... 8D (height do) sont des outils qualité qui consistent à un processus d'identification et de mise en œuvre d'une solution à un problème. Dans cette thèse, on aborde la méthode 8D. Ce choix est justifié par sa structure qui permet une description complète du cycle de gestion des événements de leur détection à l'implémentation des actions (Duret & Pillet 2005).

On aborde aussi la méthode FMECA, ce choix est venu de la structure de cette méthode qui permet une identification des causes et effets de façon précise. Une correspondance entre les analyses FMECA et la méthode nœud de papillon (Chevreau et al. 2006) présentée Figure IV.3 montre que pour chaque risque, on peut associer au moins un ou plusieurs causes et effets.

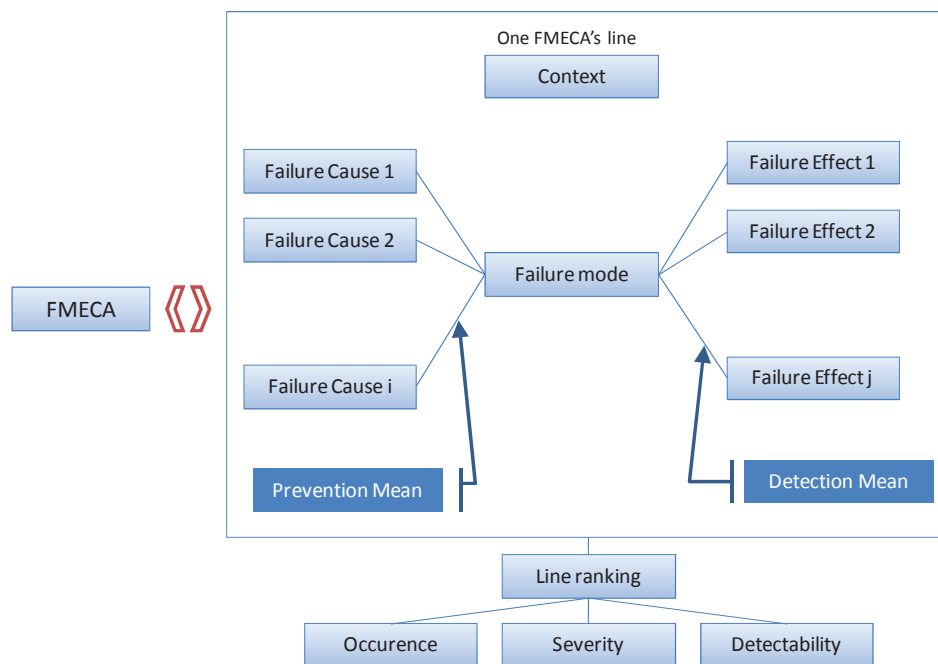


Figure IV.3 Correspondance en Bowtie et FMECA

La recherche de la ou des causes est l'une des étapes essentielles de la résolution d'un problème. C'est une des bases de l'identification des actions à mettre en place. (Duret & Pillet 2005): *Identification of problem causes is a very important step which is, unfortunately, generally done too quickly. The teams tend to seek solutions before they have fully identified the causes of the problem.* Le processus 8D associé aux FMECA sont d'un grand support sur ce point.

1- Le processus 8D en détail

Le processus 8D est une méthode qui permet de réagir face à un problème pour en limiter les conséquences et définir les actions correctives et préventives pour éliminer les causes. Cette méthode exige un travail collaboratif entre les membres concernés par le problème en question. 8D est l'abréviation de 8 Do, processus en huit étapes qui consistent à :

a. Préparation du process 8D

Cette première étape consiste à définir l'équipe qui va prendre en charge le déroulement du processus et à explicitement spécifier les responsabilités.

b. Description du problème

Il s'agit de recueillir toutes les informations relatives au problème détecté et de préciser sa gravité. Des méthodes qualité comme 5M, QQQQCP... sont utilisées à cette fin.

c. Identification et mise en place des actions immédiates

Cette étape permet de limiter les pertes constatées et contenir le problème. Il s'agit d'appliquer des décisions immédiates qui arrêtent le problème et non pas l'activité.

d. Identification des vraies causes du problème

Pendant cette étape, l'équipe identifie les causes du problème par une analyse approfondie de ses conséquences. Cette phase primordiale et clef pour prendre de bonnes décisions en vue de résoudre le problème.

e. Validation des actions correctives permanentes

Cette étape consiste à valider les solutions proposées et s'assurer de leur efficacité vis à vis des causes identifiées. La notion de coût est abordée dans cette phase pour définir si les actions décidées sont réalisables.

f. Implémentation des actions correctives permanentes

C'est l'étape de réalisation des actions correctives. Un suivi est mis en place par l'équipe qui se termine par une évaluation et des décisions d'actions supplémentaires si nécessaire.

g. Prévention contre toute récurrence

Cette étape concerne la mise en place de plans préventifs afin d'éviter la reproduction de l'évènement. Le choix des actions est basé sur l'étude précédente et l'expertise humaine. Les procédures de fonctionnement du système et de prévention sont à mettre à jour si nécessaire.

h. Félicitation des équipes de travail déployées

Le processus 8D est terminé par une réunion de clôture pendant laquelle une évaluation globale est réalisée et une vérification de la documentation du problème est réalisée. L'effort collectif de l'équipe est par la suite valorisé.

Dans ce processus détaillé et structuré, on identifie deux points communs avec les analyses des risques:

- Identification des causes
- Définition des actions préventives

Ce constat peut être un point de départ d'une communication entre ces deux méthodes. L'objectif dans la septième étape (7D) étant la prévention contre toute récurrence, il est le même recherché par les analyses de risques, mais sous un angle de prévention.

2- La gestion actuelle (courante) des 8D et FMECA

Une étude réalisée au sein de la société STMicroelectronics sur les méthodes de résolution des problèmes et de qualité, montre une divergence dans les outils et les objectifs recherchés. Chacun des services (process, R&D, maintenance...) développe séparément ses méthodes de résolution de problèmes. Les liens entre les actions mises en place à différents niveaux ne peuvent être établis que par l'expertise humaine. Cependant, la dépendance entre les services est très forte et leur objectif final est commun. La proposition du chapitre précédent montre les liens possibles entre les analyses de risques, et l'élaboration de plan d'actions de maintenance. Les trois types de plans d'actions identifiés sont :

- **les plans d'actions 8D** : ces plans sont le résultat du développement du processus 8D pour traiter les problèmes liés aux défaillances produit qu'il s'agisse de non-conformité, retours clients ou rejets de produit lors de tests (SCRAP).
- **les plans d'actions Risque** : ces plans sont supportés par la méthode FMECA pour définir les risques potentiels produit et opérationnels (processus & équipement). Les plans d'actions résultants ont un caractère préventif et sont déclenchés suite à une analyse préventive. Bassetto et al. (Bassetto S & Siadat A 2006) ont proposé de mettre à jour la base des risques à la septième étape du processus 8D, mais l'unification des plans d'actions ne fait pas partie des propositions des auteurs.
- **les plans d'actions correctives** : ces plans d'actions sont gérés quotidiennement en fonction des défaillances opérationnelles détectées. Les actions sont généralement correctives et dépendent de l'expertise humaine. Une approche empirique tente d'améliorer l'aspect correctif par la mise en place d'interventions correctives.

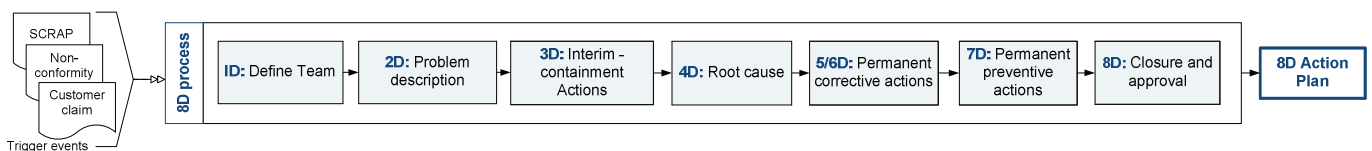


Figure IV.4 Plan d'actions 8D: Défaillances produits

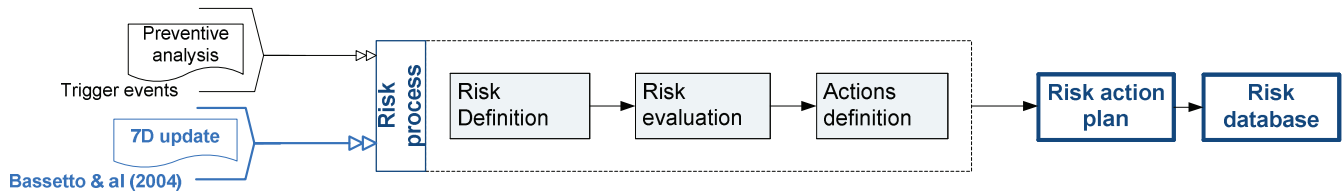


Figure IV.5 Plan d'actions risque : risques produits & opérationnels

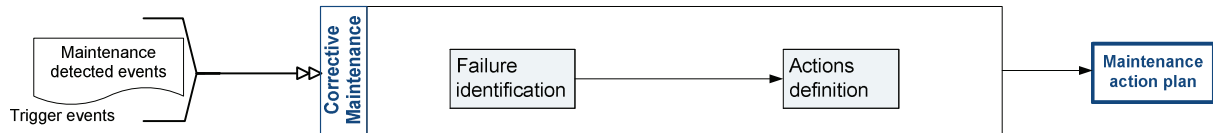


Figure IV.6 Plan d'actions correctif : défaillances opérationnelles équipements

Ces trois processus, malgré l'absence de liens formels, utilisent les analyses de risques appuyés par la validation des experts. Une analyse 8D ou une action corrective donne lieu à une décision qui tient compte du risque encouru mais qui n'est pas formalisée. Seule une analyse détaillée des causes et effets potentiels permet une identification précise du niveau de risque. Cette analyse du système de gestion actuelle montre que les risques liés aux défaillances produits et opérationnelles sont traités dans le cadre de plans d'actions indépendants. L'évaluation continue et dynamique des résultats de défaillance n'est pas directement liée aux plans d'actions. L'analyse et la cotation du risque reste, dans ce cas de figure, fortement conditionnée par l'expertise humaine.

Basée sur ce constat industriel et ce qui a été proposé dans la littérature pour la gestion des plans d'actions, la section suivante de ce chapitre propose une méthodologie d'intégration des défaillances produit dans les analyses de risques. Un processus unifié de gestion des plans d'actions est proposé pour définir les étapes et activités nécessaires pour cette intégration.

IV. Vers une gestion unifiée des plans d'actions, RBAP: Risk Based Actions Priorities

1- Liens possibles entre FMECA et 8D

Par une approche similaire à ce qui a été proposé pour la gestion dynamique des plans d'actions de maintenance, les similitudes entre les deux processus de gestion des 8D et des analyses de risques améliorées par la RBM dynamique ont été soulignées. Comme indiqué dans le paragraphe III.1, deux points d'entrée sont possibles pour établir des connexions entre ces deux processus. La recherche de la cause et l'identification des actions pour y remédier permettent, dans l'analyse de risques, de lister les solutions possibles (en termes de coûts et temps de cycle par exemple) et leurs impacts sur le niveau du risque.

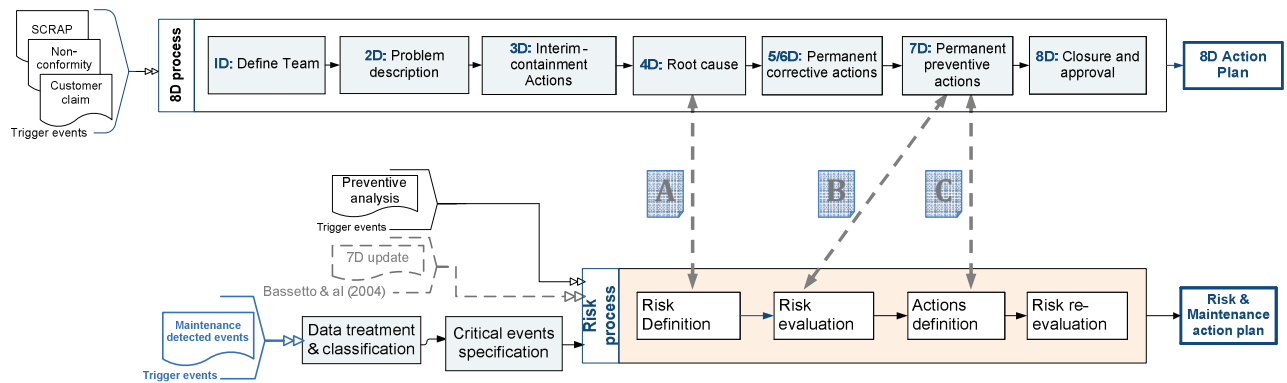


Figure IV.7 Processus joignant analyse des risques et plan d'actions

Ces points de connexion, comme présentés Figure IV.7, sont définis par:

- A- l'identification du risque qui peut améliorer la classification des causes réelles et potentielles de la défaillance analysée dans le processus 8D,
- B- l'évaluation du niveau de risque, un critère pour la gestion des priorités des actions décidées,
- C- la définition des actions préventives dans l'analyse des risques qui adresse en général les causes potentielles permet d'améliorer les propositions des actions par les experts.

L'idée d'établir les liens potentiels entre un processus de gestion des défaillances produit et un processus de gestion des risques amène la possibilité de généralisation en un seul processus. On peut aussi envisager de centraliser la gestion des priorités d'actions venant de diverses sources (variabilité du processus, retours client, gestion du rendement et pannes machines), l'objectif demeurant d'améliorer la qualité des décisions et de développer une base de connaissances pour tous les événements de production quelle que soit l'organisation. Unifier et faire converger ces deux processus permet, d'une part, de centraliser les événements déclencheurs (*trigger events* : issues qualité, défaillances opérationnelles et analyses préventives) et, d'autre part, d'avoir une vision globale sur l'ensemble des actions à mettre en place et ainsi d'apporter des décisions stratégiques.

2- Diagramme d'activités

Pour unifier ces processus et faire communiquer les étapes et activités, il faut préciser sur quelles étapes l'intégration aura lieu et quels sont les flux d'information à interposer. Précisons les finalités de l'approche.

- une utilisation des actions correctives pour améliorer la prévention d'événements et leurs causes.

- l'unification de la gestion des risques sur tous les niveaux de l'entreprise afin d'obtenir une vision globale et unifiée sur le niveau de risque.
- la simplification du retour d'expérience et la valorisation de l'expertise humaine par une gestion des actions dans un environnement unique et partagé.
- l'amélioration de la gestion des priorités en utilisant l'expertise et l'historique des défaillances opérationnelles.
- enfin une évaluation de la performance des équipes et des actions communes.

»» *Un processus dynamique autocontrôlé et enrichi par l'expérience des événements opérationnels.*

Le résultat global doit se présenter sous forme de sorties communes pour les trois types « *trigger events* » à analyser. Pour modéliser ce résultat, un diagramme IDEF0 (Figure IV.8) a été établi sur la base du modèle de gestion des 8D et du processus de la RBM dynamique. Les deux flux sont représentés de manière parallèle, mais avec une convergence finale vers un plan d'actions unifié.

L'entrée de ce processus est une collecte *dynamique* des événements relatifs aux défaillances produit et opérationnelles. Les défaillances opérationnelles sont traitées avec le processus habituel de gestion des actions correctives (A4). Deux sorties distinctes de cette activité sont : la défaillance éliminée (*event solved*) et le compte rendu de l'intervention (*Logged failure*) qui sont classifiés et cotés en termes de criticité dans A5. Les défaillances produit (*customer claim, Scrap et non-conformity*) sont analysées par les trois premières étapes du 8D (A1). L'identification de la cause de la dérive produit (A2) est supportée par l'identification du risque et de ses causes potentielles (A6). Cette utilisation de l'identification des causes de risques issues d'une défaillance opérationnelle, permet aux experts d'élargir le périmètre d'investigation à des causes déjà mises en évidence dans le passé. ((Duret & Pillet 2005): *C'est une étape très importante qui est malheureusement souvent réalisée trop rapidement. Les groupes ont toujours tendance à rechercher des solutions avant d'avoir identifié parfaitement les causes du problème*). Une fois les causes identifiées, les experts proposent les actions correctives et préventives adéquates (A3) en précisant le détail de chacune (planning, ressources & responsables).

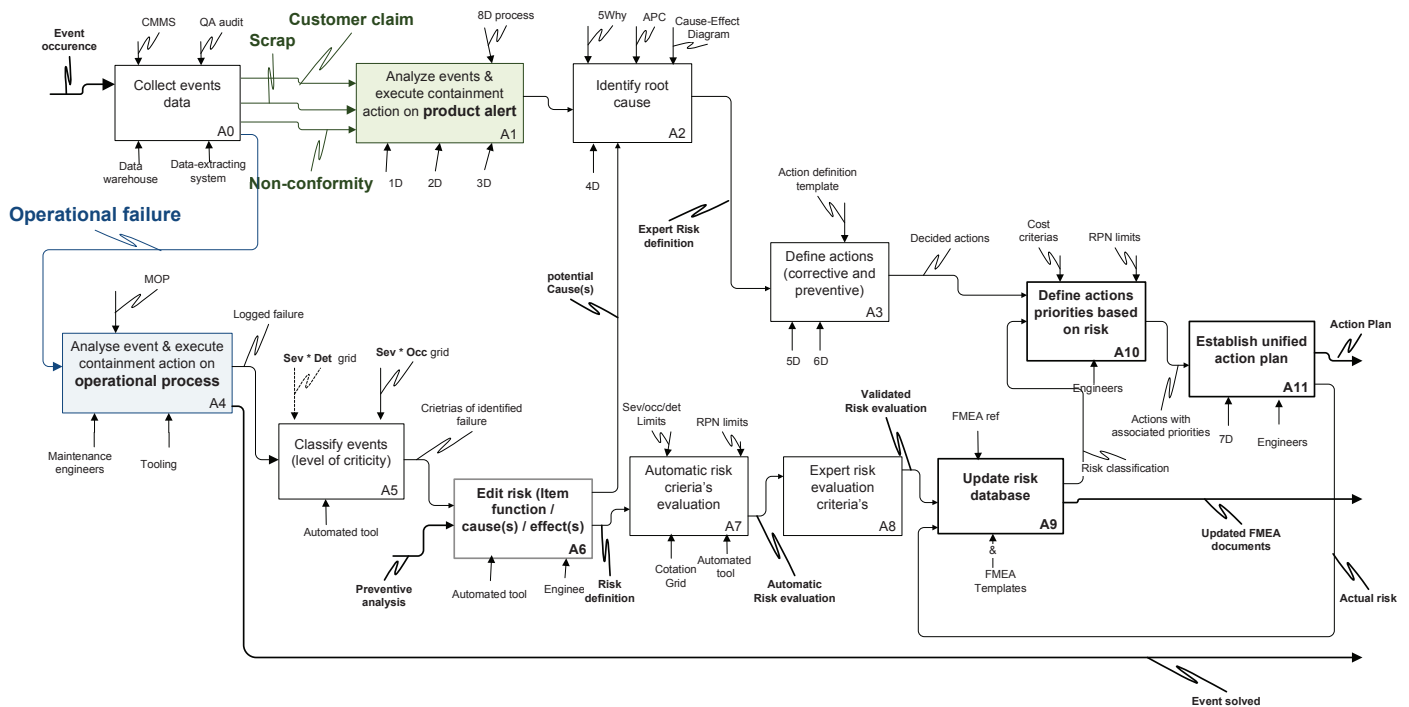


Figure IV.8 Processus proposé pour l'unification des plans d'actions

Le second processus (RBM dynamique) commence par la collecte du détail des défaillances opérationnelles (*logged events*). Le module de traitement et de classification des risques potentiels (A5, A6 & A7), développé dans le chapitre précédent, permet d'établir une liste de risques potentiellement critiques à la base de l'historique des défaillances. Cette sortie (*Automatic risk evaluation*) est analysée par les experts afin de valider et/ou corriger les cotations automatiques. Cette étape (A8) est implémentée dans le but de contrôler l'efficacité du système, garder une supervision humaine des résultats et s'assurer de la qualité des données transmises. Elle permet aussi de conserver un contact au terrain si important pour entretenir une expertise opérationnelle.

Une fois validés, les risques critiques sont intégrés dans la base de données (A9) et utilisés par la suite comme un critère d'évaluation des priorités des actions. Cette étape (A10) est centrale dans la gestion des objectifs opérationnels. Ayant deux entrées complémentaires -- Actions décidées et risques encourus -- elle permet de compléter chaque action par le ou les risques qui lui sont associés. Il ne reste aux experts qu'à établir le plan d'actions complet (A11) en prenant les décisions finales et à mettre à jour l'évaluation des risques après réalisation des actions.

L'originalité de ce processus est illustrée par l'utilisation simultanée de l'expertise humaine, dans les domaines de la qualité, des opérations et de la maintenance, et de l'historique des défaillances enregistrées pour coter dynamiquement le niveau du risque (SEV*OCC). La priorité de toute action est alors définie dans le cadre d'un processus unique, dynamique et général. La sortie de ce processus (*Unified Action Plan*), est le résultat d'un focus sur les problèmes opérationnels actuels et elle définit en même temps un tableau de bord du niveau de risque encouru.

Les deux autres sorties présentées dans ce processus sont les événements résolus suite à une défaillance opérationnelle (*Event solved*) et la base FMECA mise à jour (*Updated FMECA*).

documents). La première sortie représente le résultat d'une intervention corrective suite à une défaillance opérationnelle si elle n'atteint pas le niveau Rpo limite, et la seconde une mise à jour *régulière* des risques en fonction des événements enregistrés.

La politique de gestion des risques, bien connue par ses difficultés d'implémentation et de maintien à jour (Niehaus 2001), devient un acteur principal dans l'optimisation des politiques de prévention.

3- Décision multicritère

Le diagramme d'activité développé précédemment, montre les flux d'information et le processus complet pour l'intégration des deux méthodes. La décision finale est basée sur l'ensemble de ces critères :

- Cr₁ : Identification des causes potentielles,
- Cr₂ : Evaluation du risque,
- Cr₃ : Expertise humaine,
- Cr₄ : Gestion des priorités.

L'intégration de l'ensemble de ces critères dans un seul processus permet d'unifier le protocole de management des risques et des événements aux différents niveaux de l'entreprise. Il en résulte également une vision complète et cohérente sur l'ensemble des événements et sur les priorités opérationnelles.

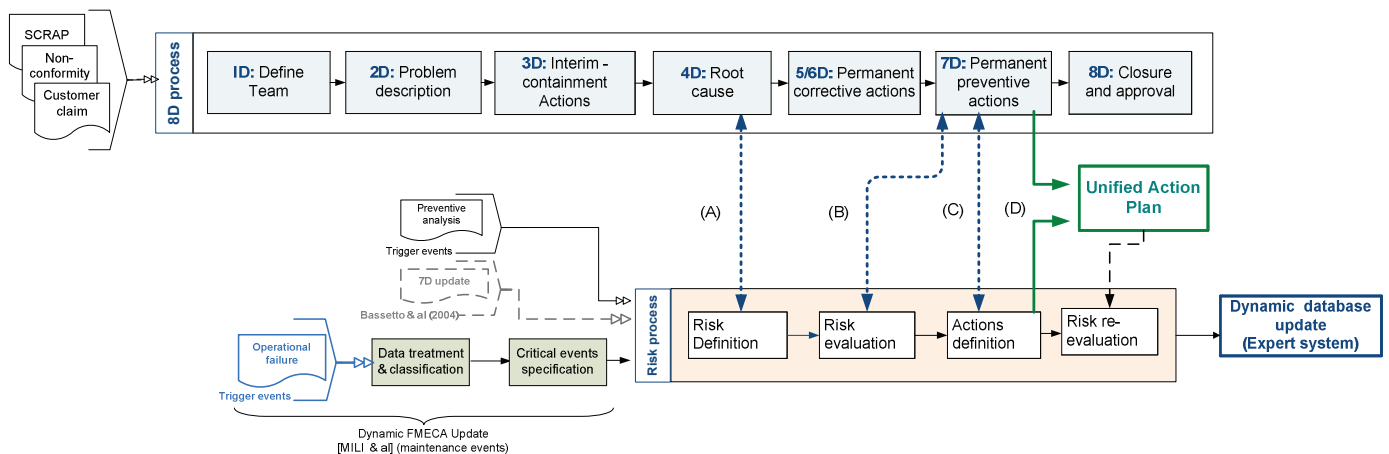


Figure IV.9 Processus de gestion des risques & des plans d'actions

La prise en compte de ces critères dans le processus de décision doit suivre l'ordre des critères. L'évaluation du risque (Cr₂) ne peut être utilisée que si l'identification des causes potentielles (Cr₁) a été effectuée. De la même façon, tout critère (Cr_n) ne peut être intégré que si son prédécesseur (Cr_{n-1}) a été pris en compte. Cet aspect séquentiel assure l'aspect factuel de la décision finale. Ce processus unifié (Figure IV.9) simplifie également la décision des actions correctives pour stopper le dysfonctionnement par une définition semi-automatique des causes potentielles. L'utilisation de cette approche permet de faire un retour d'expérience sur la base des cas et de connaissances liée aux événements opérationnels.

Cette approche autorise en outre une gestion simplifiée des retours d'expérience et une recherche d'information dans un environnement unique. La structure ouvre la voie à une évaluation des résultats des actions et des performances des équipes de façon cohérente à différents niveaux de l'entreprise.

4- Modèle de gestion des données communes

Pour présenter l'aspect informationnel, un diagramme de classes (Figure IV.10) a été établi. Il montre le modèle de données global du processus et il est structuré en quatre parties :

- **Events** : gestion des événements ; cette partie intègre les données issues de défaillances opérationnelles et les retours de la qualité,
- **Risk Analysis** : la gestion du risque est faite à l'aide de la méthodologie FMEA mais elle est alimentée également par la RBM dynamique représentée par la classe d'association , « *Event evaluation* » : ceci permet de classer les événements selon leurs criticités par le calcul du critère $SEV \cdot OCC$ et/ou $SEV \cdot DET$. Le résultat de cette analyse est un ensemble d'actions correctives,
- **8D Model** : l'entrée de ce package est la classe « issues qualité ». Des liens communs entre effets et causes d'un événement et ceux d'un risque permettent d'améliorer l'identification des causes réelles et potentielles. La sortie de cette partie du modèle est un ensemble d'actions préventives et correctives,
- **Action Plan** : c'est la partie du modèle qui héberge les décisions relatives à l'implémentation des actions. La gestion des priorités est basée sur les informations de chaque action qu'elle soit corrective ou préventive. La décision multicritère, développée dans la section précédente, est modélisée par la classe « *Action priority* ». Un tableau de critères est établi pour toutes les actions et un paramètre « *priority()* » est calculé pour les classer. La validation des résultats par les experts reste le dernier critère pour valider ou modifier cette évaluation automatique. Cette partie du modèle permet de centraliser toutes les propositions d'actions, quelle que soit leur origine, et de définir un plan d'actions qui gère les priorités de manière unifiée.

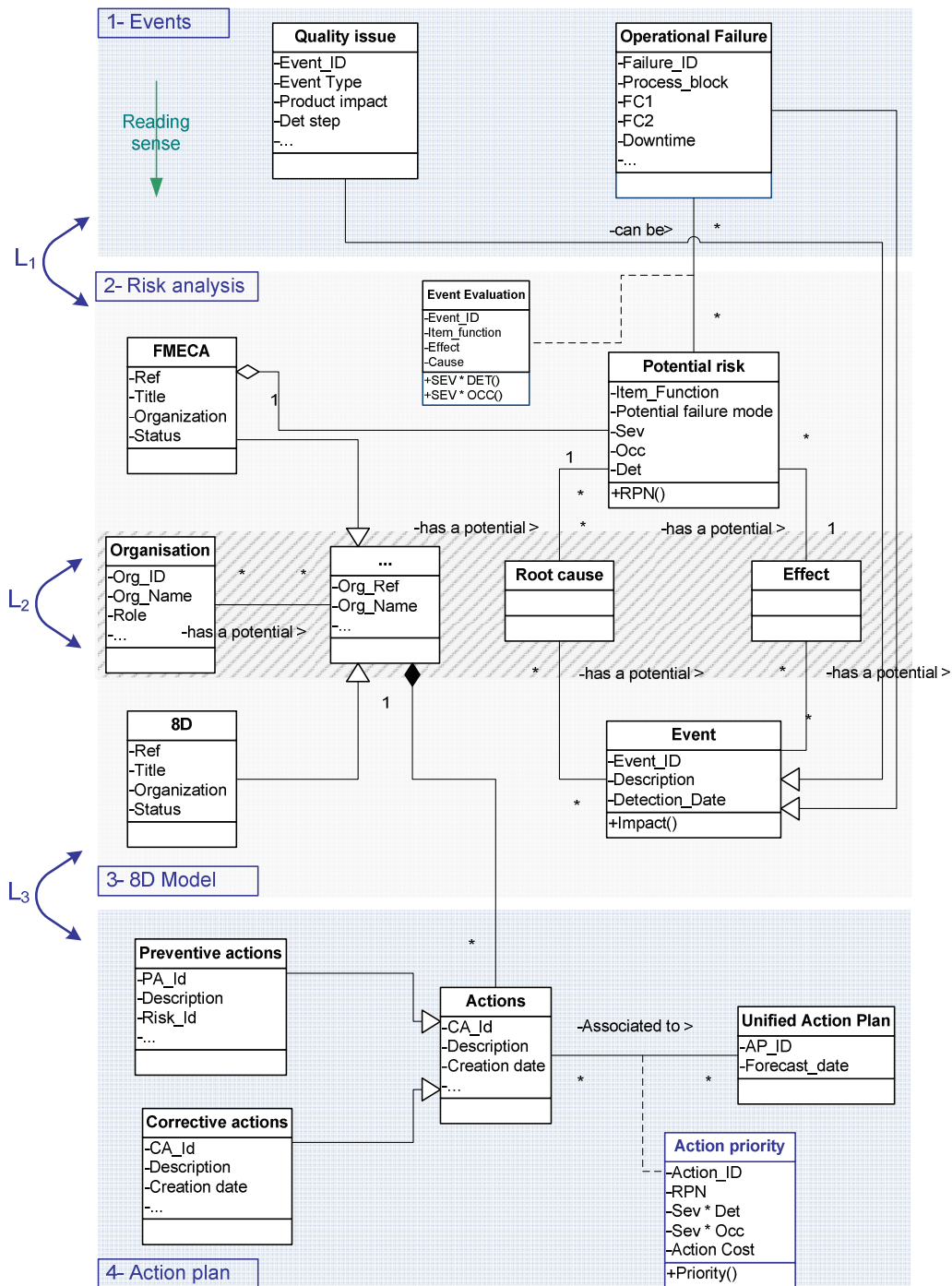


Figure IV.10 UML model

Pour établir un transfert d'information entre ces quatre parties du modèle, trois liens ont été établis. Ils permettent un flux continu commençant par la collecte des données à leur traitement et identification des actions jusqu'à la décision des priorités.

- **L1:** Evènement qualité et évènement opérationnel. Ce premier lien consiste à intégrer la collecte dynamique des événements et son utilisation dans le processus de gestion

des plans d'actions. Ce lien permet d'alimenter, comme présenté dans le diagramme de processus Figure IV.8 (A0), les étapes de résolution du problème.

- **L2:** Estimation du risque et évaluation de défaillances opérationnelles. Ce second lien est la passerelle entre les packages '2- Risk analysis' et '3- 8D Model'. Il assure l'estimation du niveau de risque à base d'événements opérationnels.
- **L3:** Actions correctives & préventives et Gestion des priorités. Il représente le passage final entre les étapes du processus de décision à la validation des priorités et concrétisation du plan d'actions **unifié**. Il est représenté dans le diagramme de processus de la RBAP (Figure IV.8) par les entrées de l'activité A10 : 'Decided actions' et 'Risk classification'.

Ce modèle de données est support de l'aspect dynamique de cette approche. La décision finale fait l'objet d'un traitement en amont des données opérationnelles de manière continue. Le flux des données en entrée de ce modèle, permet en outre d'associer deux critères très importants pour toute industrie, les pertes de produit et les pertes d'efficacité. Les trois classes (*Team, root cause & effect*) communes entre l'analyse de risque et le modèle 8D simplifient la tâche des experts pour définir les actions et alléger le processus d'analyse de risques.

Prendre en compte risque et évènement, gérer les priorités de façon commune et proposer un classement permet d'obtenir un système d'aide à la décision qui supporte les opérationnels dans leur gestion de évènements.

V. Implémentation de l'approche

L'implémentation de cette approche doit prendre en compte les contraintes relatives au système d'information existant dans l'entreprise. Il s'agit de faire un audit des personnes susceptibles d'interagir avec le système en précisant leurs rôles respectifs ; cet audit a aussi pour but de préciser les moyens de collecte des informations et d'évaluation des résultats. Les étapes de cette implémentation peuvent s'articuler comme suit :

- établir un diagramme de cas d'utilisations : afin d'identifier les acteurs majeurs, leurs périmètres d'actions, les fonctions attendues du système et tous les cas d'utilisation possibles.
- définir un flow complet du processus depuis la collecte des données, la décision des actions à l'évaluation des résultats.
- développer la base de données et les interfaces utilisateurs.
- définir, créer et implémenter les indicateurs ; KPI (Key Performance indicators).

1- Cas d'utilisations

Le diagramme de cas d'utilisations (Figure IV.11) identifie l'environnement où sera déployée l'approche. Il précise les acteurs, leurs rôles et activités tout au long du processus de gestion

d'un plan d'actions. Ce scénario, développé pour l'implémentation et le test de l'approche, présente le cas particulier d'une entreprise de semi-conducteurs.

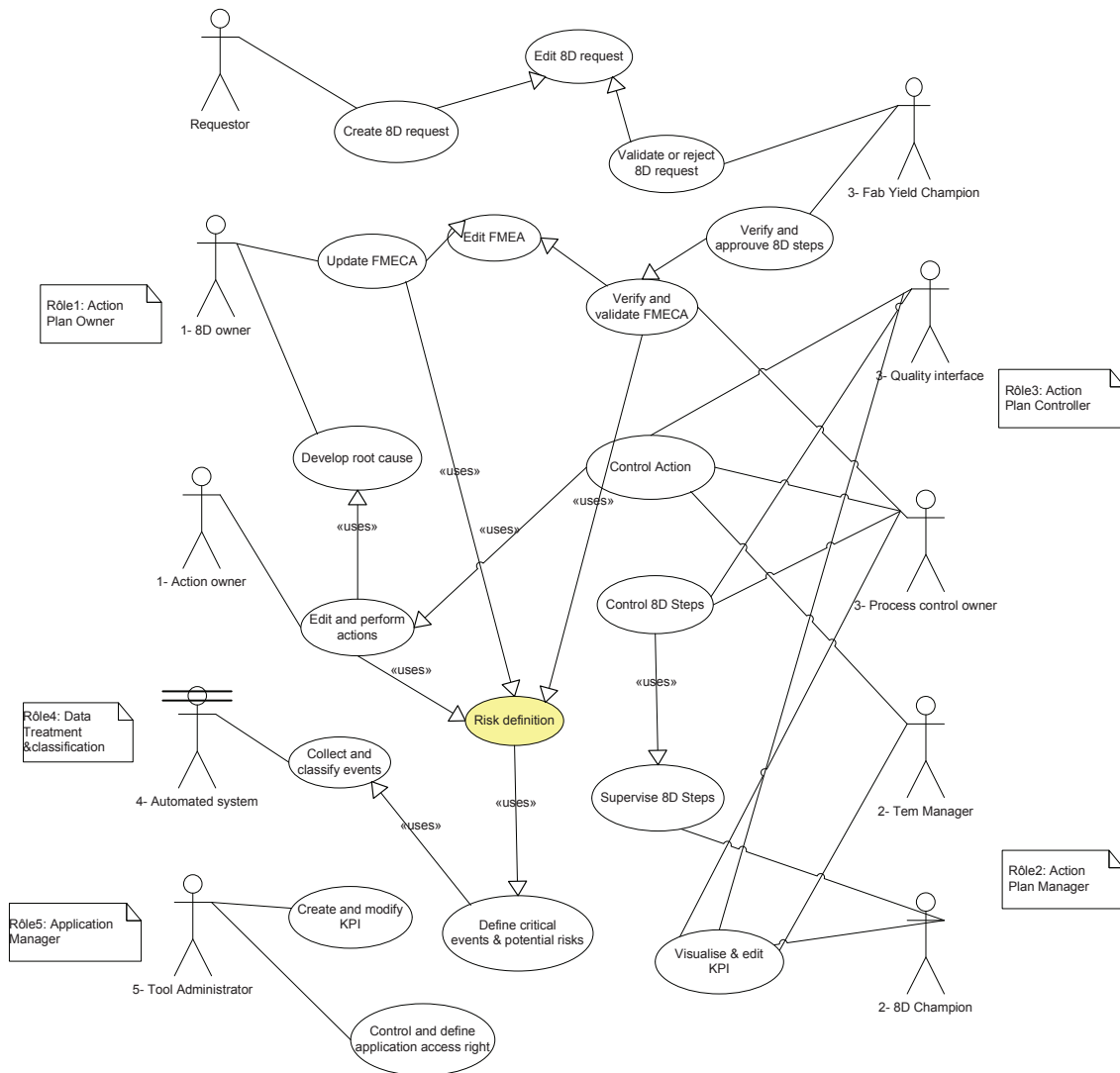


Figure IV.11 Diagramme des cas d'utilisation (use cases)

Ce cas d'utilisation décrit les principales fonctions et acteurs autour de la gestion des risques, le processus 8D et la décision des actions. Cette vision globale simplifie l'identification des contraintes du système et permet de décrire un premier niveau des interactions homme/système. Les principales étapes du processus sont soulignées et il reste toutefois à spécifier les droits d'accès en fonction de chaque rôle. Les acteurs principaux de ce système sont organisés en cinq rôles :

- **Rôle1: Action plan owner** - Ce premier rôle concerne tous les acteurs opérationnels du plan d'actions. Il englobe les personnes qui créent et modifient toute étape du plan. Les acteurs identifiés pour ce rôle dans le cas de STMicroelectronics sont : Requestor, 8Downer & action owner.

- **Rôle2: Action plan manager**- Ce rôle permet d'identifier les personnes habilitées à gérer l'équipe constituée pour piloter les plans d'actions. Deux acteurs principaux ont été identifiés dans ce cas : 8D champion & Team manager.
- **Rôle3: Action plan controller** – Ce troisième rôle prend l'aspect de contrôle et de validation du travail effectué. Trois origines d'acteurs doivent être présentes dans ce rôle : la qualité, l'équipe concernée par les actions et le process control. Trois acteurs sont identifiés pour ce rôle : Fab yield champion, Process control owner & quality interface.
- **Rôle4 : Data treatment & classification** – Ce rôle représente le système automatisé de traitement et classification des données. Cet acteur système permet d'assurer la collecte des événements et assure la mise à jour dynamique de la base des risques.
- **Rôle5: Application manager**– Ce dernier rôle est propre à la gestion informatique et au développement de l'application. L'acteur identifié est : Tool administrator.

Le choix de rôles génériques permet d'adapter cette proposition pour d'autres types d'entreprises, voire d'autres secteurs industriels. Les cas d'utilisation relatifs à ces rôles se résument à :

- **Cas d'utilisation1: Editing Action plan** – ce cas d'utilisation contient toutes les fonctions d'identification du problème, définition des causes et actions nécessaires. Ce sont toutes les étapes de définition de la problématique et du « qui fait quoi ».
- **Cas d'utilisation2: Events evaluation and risk analysis update** – ce cas d'utilisation intègre l'évaluation des événements et l'estimation du niveau du risque par le système dans un premier temps, et la validation par l'expertise par la suite.
- **Cas d'utilisation3: Performing Actions** – ce cas permet de regrouper toutes les fonctions concernant la mise en place et le déploiement des actions décidées.
- **Cas d'utilisation4: Controlling and supervising process** – ce quatrième cas générique montre le contrôle continu du déroulement du processus par les représentants des services qualité et contrôle de procédés. Une boucle d'approbation finale a été rajoutée aux processus afin de sécuriser la validation des actions et la traçabilité des interventions.
- **Cas d'utilisation5: Evaluation of action plans performance** – ce dernier cas d'utilisation concerne l'évaluation des résultats des actions. Il s'agit d'évaluer la performance des équipes sur la base d'indicateurs de temps de cycle et d'occurrence d'événements.

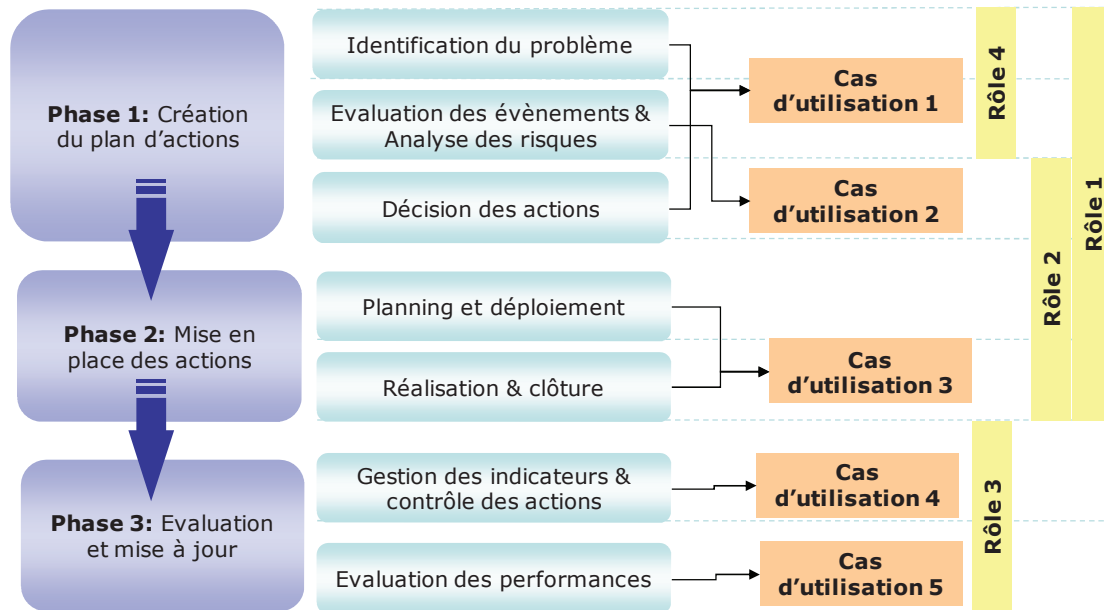


Figure IV.12 Schéma global des cas d'utilisation

La présentation du système (Figure IV.12), avec ses trois grandes phases, montre sur quels niveaux interviennent les acteurs (rôles) et quels sont les cas d'utilisation associés. Ce schéma global intègre les étapes de résolution des problèmes présentées par (Crepin & Robin 2001) en y rajoutant l'aspect risque et évaluation automatique de l'historique des événements. Cette présentation conjointe des étapes, cas d'utilisation et rôles permet une vision globale sur la gestion d'un événement indésirable. Dans la section suivante, cette présentation est complétée par une description détaillée du processus du plan d'actions. Un algorithme et un diagramme d'états montrent les étapes d'intégration des événements et des risques dans le processus de décision.

2- Actions parallèles : analyse du niveau de risque et de la criticité des événements

Avec une méthode similaire au flow proposé pour la RBMd dans le chapitre précédent, le diagramme de transitions (Figure IV.13) a été établi. Basé sur les diagrammes de cas d'utilisation (Figure IV.11) et sur le diagramme d'activités (Figure IV.8), il présente le détail des étapes et séquences du processus. Ce diagramme définit les conditions de passage entre les étapes et les informations requises pour chacune. Ce diagramme a été modélisé pour présenter les aspects déroulement du plan d'actions, conditions de passage d'une étape à l'autre et également les conditions de validation du plan global. En cohérence avec le diagramme d'activité, il présente trois grandes lignes :

- A. collecte dynamique des événements.
- B. définition du plan d'actions unifié
 - i. édition des données des événements et calculer la sévérité et occurrence.
 - ii. définition des actions sur la base d'historique des événements, niveau de risque et expertise humaine.

C. évaluation des actions et de la performance des équipes.

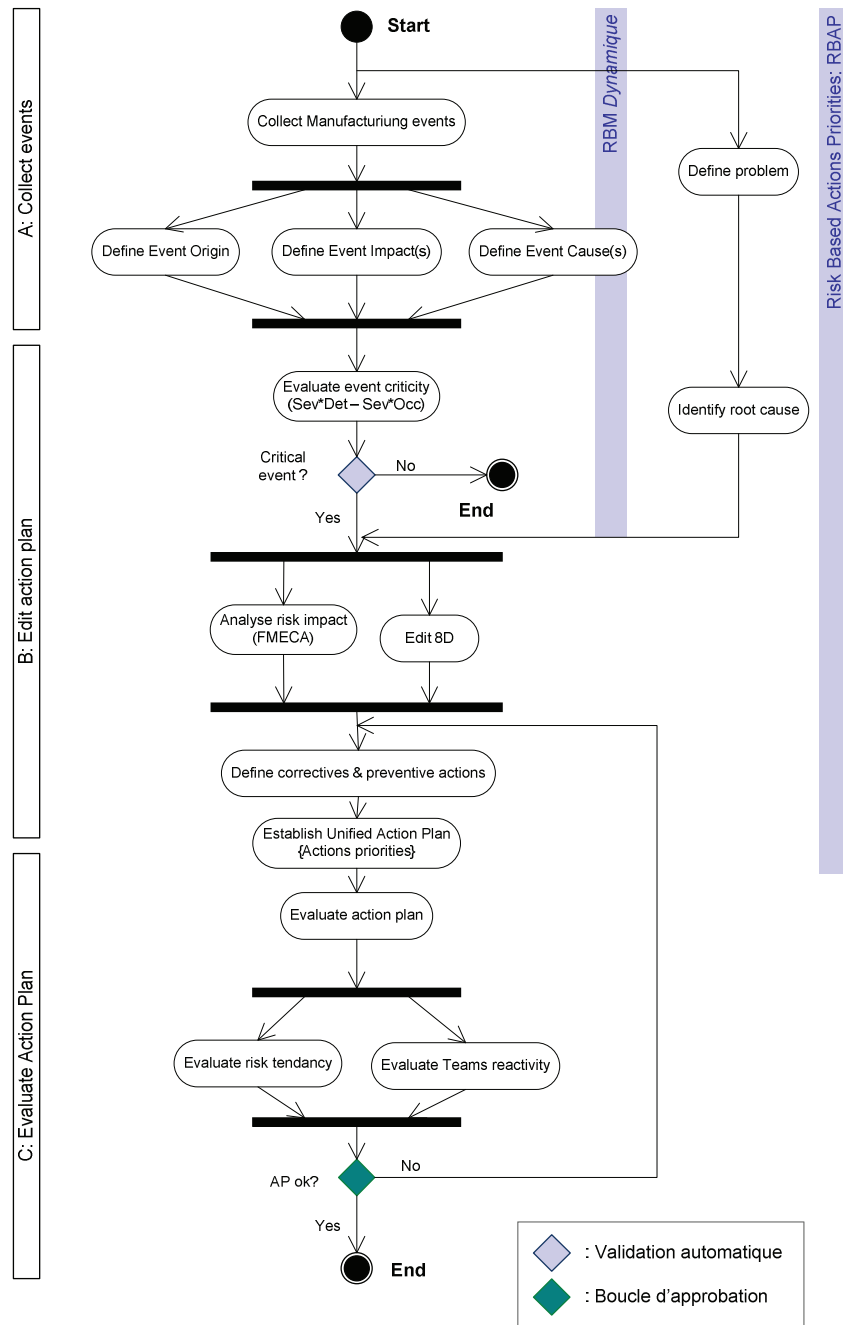


Figure IV.13 Action plan flow

Ce diagramme illustre le processus complet intégrant l'approche RBMD généralisée. La RBAP, comme présentée dans les sections précédentes, s'appuie sur les deux approches FMECA et 8D. Deux contraintes pour la validation ont été intégrées, une validation automatique faite par le système pour l'intégration de l'événementiel, s'il existe un risque, et une validation humaine capturant l'expertise pour valider le contenu et la réalisation des

actions. La troisième phase « *évaluation du plan d'actions* », a été rajoutée afin d'améliorer le contrôle post-plan d'actions. Trois niveaux d'efficacité sont mesurés :

- **l'évaluation du risque** : il s'agit de mesurer l'impact des actions entreprises sur le niveau du risque. Ce critère permet d'évaluer le niveau de performance des actions et de modifier le plan d'actions si elles sont jugées insuffisantes.
- **l'évaluation de la performance des équipes** : elle consiste à évaluer le temps de cycle d'un plan d'actions sur deux niveaux. Le premier mesure la période entre la date de déclenchement du plan et la date de définition des actions finales. Le second s'appuie sur le temps passé entre la définition des actions et leur implémentation. Ces critères permettent classiquement d'évaluer la réactivité de l'équipe face à un problème et son efficacité pour la mise en place des actions.
- **l'évaluation de la performance des actions** : il s'agit de mesurer le degré de réussite de l'action mise en place pour résoudre le problème en question. Cette évaluation est liée à celle du niveau de risque, car si l'action est jugée performante le risque de réapparition de l'évènement baisse.

Cette troisième phase représente le moyen de mesurer l'impact de l'approche RBAP sur la qualité des plans d'action et sur la méthode de travail des experts. La maîtrise du niveau de risque est également évaluée par un retour sur les modifications apportées sur la base FMECA.

La section suivante présente l'algorithme proposé pour développer cette approche. Il montre les conditions intégrées dans la base de données pour sécuriser les étapes développées précédemment.

3- Algorithme de traitement des évènements opérationnels

La gestion dynamique des évènements opérationnels est présentée dans l'algorithme ci-dessous. Les critères de choix pour un plan d'actions ou une action corrective sont décrits. Cet algorithme présente de manière simplifiée le déroulement du processus RBAP, de la collecte des évènements à l'évaluation du plan d'actions.

Algorithme

Début

Soit :

- $E_i = \{E_1, E_2, E_3, \dots, E_n\}$ l'ensemble des évènements enregistrés au cours d'une période $[t_i, t_{i+1}]$ de production. (E_i : panne machine, non-conformité produit, défaut process \rightarrow impact sur produit et/ou process)
- $R_i = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_n\}$ l'ensemble des risques associés aux évènements gérés au cours du cycle de production.
- $CE_i = \{0, 1\}$ le critère d'évaluation de l'évènement i . Si $CE_i = 1$ alors un processus 8D est exigé sinon si $CE_i = 0$ alors des actions correctives sont suffisantes.
- AI_i : Action immédiate pour limiter les conséquences de l'évènement i
- AC_i : Action corrective liée à l'évènement i
- AP_i : Action préventive pour l'évènement i
- β_i : Indice de priorité de l'action i calculé par rapport à son impact sur le risque
- APU_i : Plan d'actions unifié pour résoudre l'évènement i

1. Collecter les événements enregistrés.
 - 1.1- Spécifier pour chaque événement son origine, détail et son impact dans un formalisme commun.
 - 1.2- Attribuer chaque événement à une entité (Qualité, process, maintenance...)
2. Pour $i = 1$ jusqu'à n
 - 2.1- Définir pour chaque événement son occurrence et sa sévérité
 - 2.2- Calculer du niveau de criticité et validation humaine

Si $CE_i = 1$ **Alors**

- Fixer les actions immédiates (AI_i)
- Faire une analyse des risques à base des événements collectés
- Utiliser les causes probables du risque pour définir la root cause
- Définir le niveau de priorité β_i de chaque action i en fonction du niveau de risque RPN
- Faire une comparaison des actions définies dans la base des risques et dans le 8D.
- Décider des actions préventives et correctives à mettre en place : plan d'actions

$$\text{unifié } APU_i = \sum_{i=1}^n \beta_i.API + \beta_i.ACI$$

- Mettre à jour la base des risques \rightarrow réévaluer le risque R_i

Sinon

Décider des actions correctives nécessaires

Fin si

- 2.3- Mettre en place les actions décidées
 - Planning et déploiement
 - Validation et clôture des actions
3. Evaluer les actions mises en place
 - 3.1- Générer des indicateurs de performance des actions (BDD FMECA)

Si RPN de R_i Diminue **Alors**
Rien – (le cas de réévaluer les actions préventives : contrôler si on fait plus d'actions que nécessaire) \rightarrow optimisation des coûts

Sinon
Mettre à jour le plan d'actions

Fin si
 - 3.2- Générer des indicateurs liés au temps de cycle et implémentation (BDD 8D)

FIN

Les trois étapes du diagramme de flux présenté dans la section précédente sont développées dans les trois phases de cet algorithme. L'étape de décision des actions est détaillée par des boucles de traitement des événements dans la phase 2. Le calcul de criticité de chaque événement est complété par une approbation des experts.

4- Convergence vers un plan d'actions unifié RBAP

Cette approche proposée pour la gestion unifiée des plans d'actions définit une méthodologie de résolution des problèmes opérationnels innovante. Trois axes ont fait l'objet d'intégration et d'échange dans ce processus : l'historique des défaillances opérationnelles, les risques produits et opérationnels et l'expertise humaine.

Comme présenté dans le schéma global de cette approche (Figure IV.14), les événements opérationnels sont le point de départ et le déclencheur de ce processus. La RBAP commence par une collecte et un traitement des données (E_i) relatives à ces événements. Le niveau de risque (R_i) est alors calculé sur la base de l'impact enregistré et les occurrences de cet événement. Le résultat de cette phase initiale (Classement des événements) est vérifié par l'expertise humaine qui l'utilise par la suite dans le processus de décision.

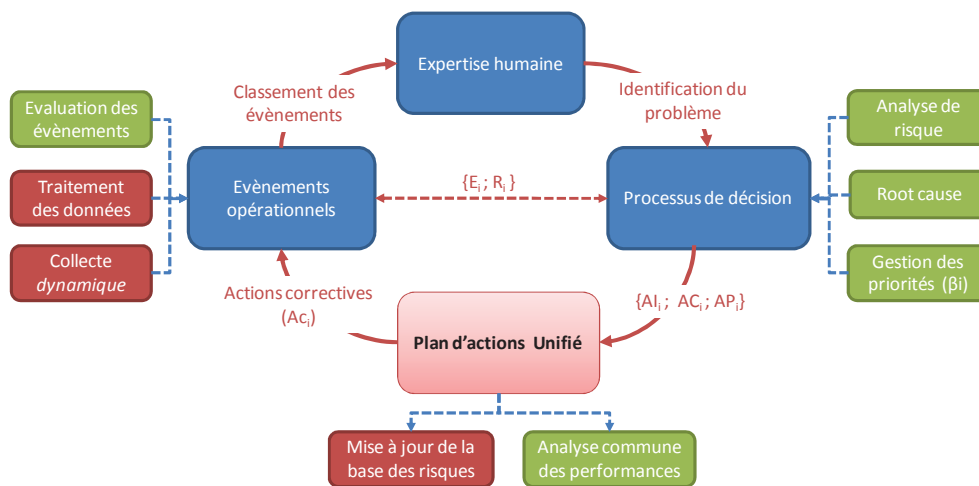


Figure IV.14 RBAP: Un processus dynamique

Ce processus est multicritère : il centralise les données opérationnelles, les risques associés et l'expertise. Une gestion des priorités (β_i) est réalisée pour développer par la suite le plan d'actions. La partie des actions à caractère correctif (AC_i) est réintégrée par la suite dans la base des événements résolus et visant ainsi à fermer la boucle.

Cette approche « *Risk Based Actions Priorities* » offre pour les experts une méthodologie et un processus unique quelle que soit la source du problème : issue qualité ou défaillance produit. Ceci répond à la problématique de divergence dans les méthodes et outils. Cette unification est également à l'origine d'une évaluation commune des résultats et d'un contrôle continu du niveau de risque.

VI. Déploiement industriel

L'approche proposée a été testée et déployée chez STMicroelectronics. La base de données des risques étant prédéfinie et structurée (Bassetto S & Siadat A 2006), l'implémentation a débuté par une collecte des informations sur les processus actuels de gestion des plans d'actions. L'approche 8D est développée mais les liens avec l'analyse de risques se sont

avérés obsolètes : l'historique des plans d'actions était archivé par atelier de production et non pas par source d'évènement. En plus, les informations étaient stockées sous format word, ce qui rend la tâche d'exploitation des données difficile et trop fastidieuse pour les experts.

Le déploiement de RBAP a nécessité le développement d'une base de données qui tient compte des aspects détaillés dans les modèles de données et processus de ce chapitre. Le module des indicateurs a été également fourni afin d'évaluer la méthode. Trois organisations de l'entreprise ont été concernées par ce déploiement : la qualité, les opérations et la R&D, ce qui représente un total d'environ 400 ingénieurs et managers utilisateurs du système.

1- Développement de l'application

Le développement de la base de données et des interfaces utilisateurs a été effectué en respectant les règles de sécurité informatique de l'entreprise. La base de données a été développée sous Oracle 10 et hébergée sur l'un des serveurs de production entretenus par le service informatique. Les modules de l'application ont été créés sous PL/SQL et JAVA. L'outil a été appelé «Fair8». Le flow de l'application ainsi que le schéma de la base de données sont présentés en Annexe 6 et Annexe 7.

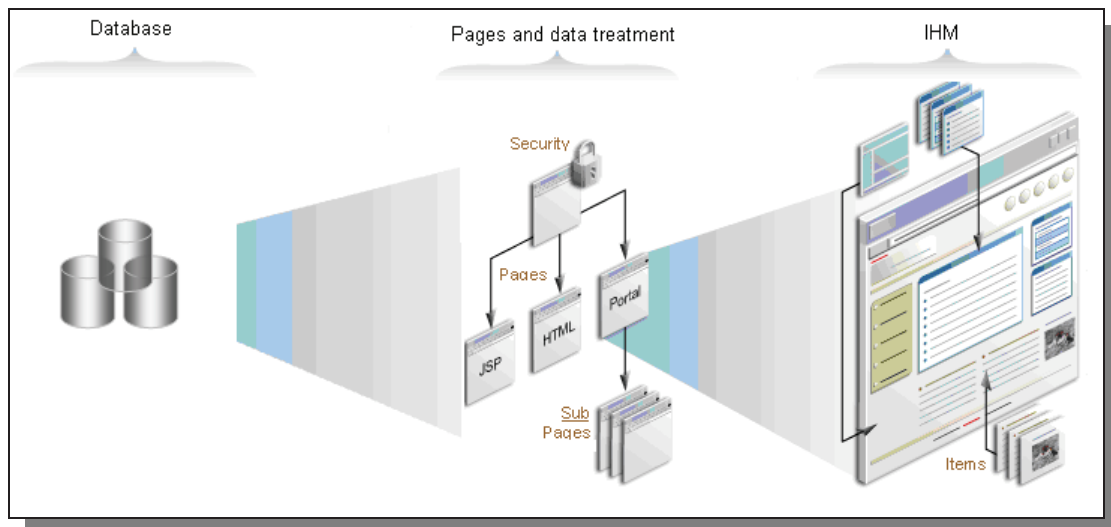


Figure IV.15 Structure de l'outil Fair8

Comme le montre la structure de Fair8 (Figure IV.15), des modules d'interfaces standard ont été développés en JSP et HTML pour permettre d'accéder à la base de données selon les droits (Voir Annexe 8). L'interface utilisateur (IHM) est composée d'un ensemble de ces pages en fonction des besoins. Tous les modules, une fois développés, sont alors accessibles depuis le portail intranet de l'entreprise. Cinq modules principaux ont été développés :

1. Création d'un nouveau plan d'actions
2. Recherche dans la base de cas

3. Edition des rapports et modification des rapports en cours
4. Module statistiques
5. Module paramétrage (Accès administrateur système)

Le premier module de la base permet de faire une demande de création d'un plan d'actions (requête) suite à une analyse d'évènement. Une étape de contrôle et de validation, réalisée par le process control, a été rajoutée afin d'optimiser l'utilisation de l'outil et de construire une base de connaissances constituée uniquement à partir d'évènements critiques. Le critère d'évaluation de criticité est basé sur le nombre de pertes de produits.

Une fois validée, la requête est créée dans la base de données et un identifiant du plan d'actions est attribué (ID_Ap). Le demandeur commence alors le processus en accédant à la base des cas (Module2) par une recherche avec des critères de similarité pour identifier les plans d'actions réalisés pour des cas similaires. Les critères de similarité sont identifiés par la description détaillée de l'évènement (organisation, catégorie, sub-catégorie, cause...), son impact sur le produit et/ou la partie du processus de production.

Le troisième module est l'interface utilisateur pour la création et la modification des plans d'actions. Tous les acteurs concernés qui ont été identifiés dans le groupe du plan d'actions ont accès pour modifier les données nécessaires.

Le module statistique est basé sur des requêtes de calcul SQL qui permettent de situer l'état d'avancement des travaux, les temps de cycle et la quantification de la charge des équipes. Le dernier module « *paramétrage* » a été rajouté à l'application pour les administrateurs afin de permettre une gestion des paramètres et des accès plus flexible.

2- Indicateurs de performance

Le suivi et l'évaluation continue d'une approche, d'une méthode ou d'un outil de travail est la clé de son amélioration continue. Ils permettent un retour sur les tendances des résultats obtenus par rapport aux objectifs et attentes. Le module des indicateurs développés dans cette étude vise à suivre la RBAP sur cinq axes :

- l'utilisation par les experts de cette approche (mesure d'adoption),
- la performance des équipes lors de la définition du plan d'action et de sa mise en place, ce qui permet une évaluation précise du temps de cycle (efficacité des équipes),
- la mise en évidence des ateliers, entités du processus de production ou des moyens qui présentent un risque élevé pour l'entreprise (performances des équipements),
- la gestion de la charge de travail des équipes en fonction des plans d'actions en cours et des priorités d'implémentation (charge des ressources humaines),
- l'efficacité du plan d'actions en termes de performance des actions mises en place et du niveau de risque associé.

Ces objectifs permettent de suivre l'approche du point de vue résultats opérationnels (qualité des solutions proposées) et niveau d'acceptabilité par les experts. Le premier graphique ci-dessous (Figure IV.16) est un exemple d'indicateurs suivis par le management d'une

organisation. Il montre l'évolution de l'écart entre les plans d'actions en cours et ceux clôturés. Il permet également de statuer sur quelles parties de processus sont concentrés les actions et les axes potentiels d'amélioration. Cette représentation des données, permet également un suivi en temps réel de l'état d'avancement des travaux et de la charge de travail des employés. (Les données de ce graphique ont été modifiées pour des clauses de confidentialité)

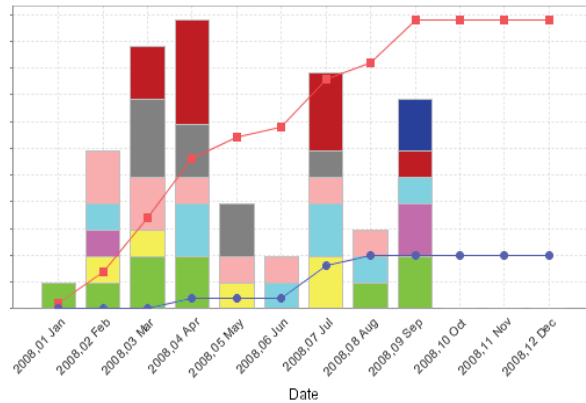


Figure IV.16. Manufacturing action plan evolution & gap between opening and closure

La Figure IV.17 montre un deuxième type d'indicateurs centrés sur le temps de cycle d'un plan d'actions. Il présente la dispersion du temps de cycle pour les plans d'actions clôturés (en bleu) et le cumul en % des PA selon le temps de cycle. Ce graphique montre qu'environ 50% des PA ont été finalisés en moins de 120 jours et que du retard a été constaté sur un nombre important (plus de 190 jours).

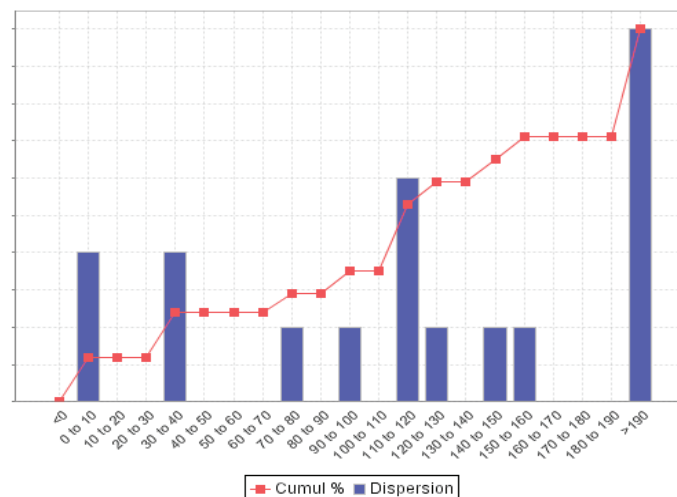


Figure IV.17. Cycle time evaluation

Cette comparaison peut être faite également au niveau de l'organisation afin de montrer la réactivité des équipes et/ou la disponibilité des ressources. L'approche proposée dans ce

travail a été axée sur le développement continu et l'amélioration en temps réel des actions au sein de l'entreprise. La finalité est d'aboutir à un processus sous forme de boucle de 'régulation' pour améliorer les décisions au sein d'un plan d'actions et de mieux gérer les priorités.

Pour obtenir une vision en même temps globale et ciblée sur l'évolution des plans d'actions, le quatrième module a été construit sur trois niveaux:

- *Statistiques niveau 1* : contrôle des priorités des actions au niveau de l'entreprise et de l'état d'avancement des travaux (indicateurs dédiés au management),
- *Statistiques niveau 2* : visibilité des actions en cours au niveau « organisation » avec temps cycle de réalisation (indicateurs dédiés aux responsables d'équipes),
- *Statistiques niveau 3* : comparaison des priorités d'actions, de la charge de réalisation et des performances entre les équipes de chaque organisation au sein de l'entreprise (indicateurs dédiés à la qualité et au process control).

Cette structure à plusieurs niveaux permet de pointer les éléments critiques dans chaque service de l'entreprise. Les priorités, gérées de la même façon sur tous les niveaux, permettent également de statuer sur les plans d'actions prioritaires et les moyens nécessaires pour leur réalisation.

3- Exemple et cas d'étude

Ce cas d'étude montre l'utilisation de RBAP pour développer un plan d'actions suite à une non-conformité produit détectée (12 plaquettes rejetées). La dérive du processus a eu lieu durant la phase « PSG passivation ». Une corrosion humide a été constatée sur les 12 plaquettes (Figure IV.18) suite au dépassement d'une contrainte d'enchaînement : durée d'attente dépassée avant passivation entre deux lots successifs.

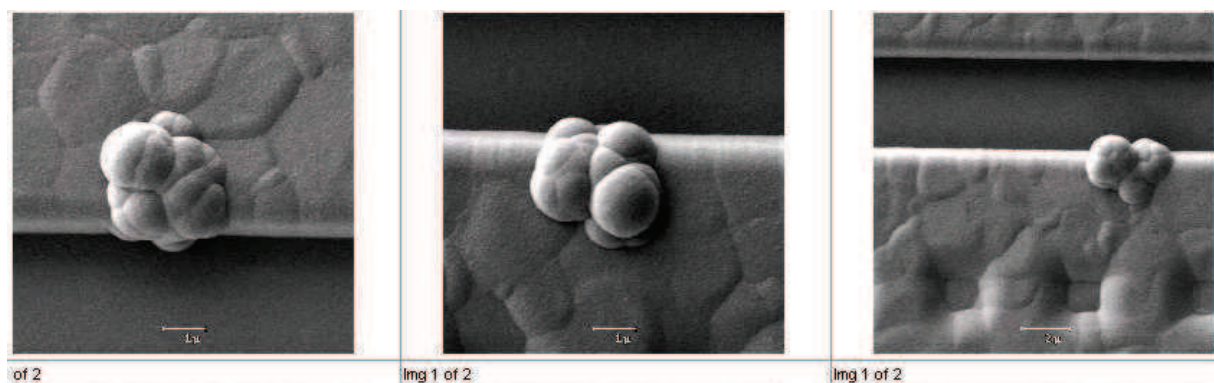


Figure IV.18 Images de corrosion humide sur wafer

La cause détectée de ce dysfonctionnement est le dépassement du temps d'attente entre les étapes "Drystrip Alucap" et "PSG passivation". Une action immédiate (*Action1*) a été

entreprise et consiste à arrêter le lot impacté, passer les plaquettes au test de défektivité et déclarer la non-conformité produit (SCRAP) pour celles impactées (**A1: 1D, 2D, 3D**).

Une analyse de risques a été réalisée, comme défini dans le processus RBAP (**A6**), pour identifier les causes potentielles de la défaillance et ses effets secondaires. Comme présenté Figure IV.19, deux causes potentielles ont été identifiées :

- **Cause1** : erreur humaine ; cette cause a été identifiée par les ingénieurs.
- **Cause2** : la définition des contraintes du processus de Split.

Item/Function	Potential Failure Mode	Potential Effect of Failure	S E V	Class	Potential Causes Of Failure	O C C	Current Control Prevention	Current Control Detection	D E T	RPN
Operation: PSG Passivation Values criterias: Defectivity Thickness	Corrosion defects	Wafer scrapped	7		long queue time between Drystrip Alucap and PSG passivation Cause1: Pb split execution -- Human error	5	Queue time management system	System Alarm	4	140
			7		long queue time between Drystrip Alucap and PSG passivation Cause2: Split process definition	5	Queue time management system	System Alarm	4	140

Figure IV.19 Extrait de la base des risques

La sévérité du risque associé a été cotée à 7 (Scrap plaquettes), l'occurrence à 5 (Moderate) et la détection à 4 (Alarme système). Le niveau de ce risque RPN est égal à 140 ce qui impose des actions préventives pour sécuriser cette étape du processus (**A8**). Les actions proposées dans cet exemple consistent à :

- **Action2** : associée à la cause 1, qui consiste à changer la procédure de split en intégrant des étapes de vérification avant le début du processus.
- **Action3** : associée à la cause 2. Il s'agit de rajouter des contraintes de précedence entre les lots dans le système MES. Une ECN est décrite pour ce changement.
- **Action4** : elle est associée à la cause 2 et consiste au développement d'un nouveau module de contrôle dans MES.

Dans l'approche classique 8D, seule la cause 1 sera traitée (cause détectée de l'évènement) sans l'estimation et l'évaluation de risques potentiels. La RBAP intègre le niveau de risque et définit un tableau de priorité (Tableau IV-2) en s'y référant.

Action Plan	Workshop	Initial RPN			RPN after Action 1			RPN after Action 2			RPN after Action3			RPN after Action 4		
Split process improvement	DIEL	140			140			112			56			28		
		7	5	4	7	5	4	7	4	4	7	2	4	7	1	4
Action status					Done			Done			Done			Cancelled (cost)		

Tableau IV-2 Tableau de gestion des priorités

Ce tableau détaille les priorités des actions en fonction de l'impact sur le risque associé (**A10**). L'action immédiate 1 n'a aucun impact sur le niveau de risque, comme elle permet juste de contenir le problème et limiter les pertes. La deuxième action permet de baisser légèrement, le risque mais à un niveau à peine en dessous du seuil limite. En revanche, le tableau montre

que les actions 3&4 ont un impact important sur la diminution du risque. Elles permettent de baisser le RPN respectivement à 56 et 28. L'action 3 est abandonnée par les experts en raison des coûts nécessaires qui ne justifient pas le passage du risque de 56 à 28. Cette approche RBAP a permis dans un premier temps de converger vers un seul plan d'actions (A11) et d'offrir une gestion des priorités pour simplifier la tâche des experts, tout en réduisant les coûts dus à des actions non indispensables pour l'instant.

4- Résultats du déploiement

Le déploiement de la RBAP, sur une période de six mois sur le site CR300 avec un nombre d'utilisateurs aux alentours de 400 ingénieurs, a donné lieu à la création de 190 plans d'actions dont 60 clôturés. La base de données contient ainsi l'ensemble des plans d'actions process, qualité, maintenance et R&D.

La demande de déploiement de cette approche sur le site CR200 montre l'intérêt de cette méthode et son niveau d'utilisation par les experts. La capitalisation des informations et de l'historique des événements dans un système commun a montré son efficacité dans la résolution des problèmes. C'est pourquoi une migration de tous les plans d'actions, qui datent de moins d'une année, dans la base FAIR8 a été demandée par le management et réalisée à 95%.

Un autre résultat de cette approche est l'amélioration de la réactivité des équipes pour la définition et la réalisation des actions. Le graphique suivant (Figure IV.20) montre la diminution du temps passé pour un plan d'action entre le début de déploiement et quelques mois après.

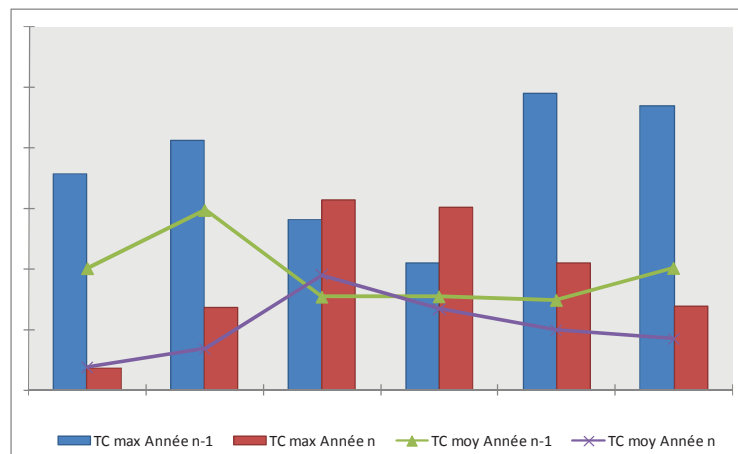


Figure IV.20 Comparaison de l'évolution du temps de cycle des AP avant et après RBAP

VII. Conclusion

Ce chapitre de la thèse a traité la problématique d'unification des plans d'actions au sein d'une organisation. Le constat de départ, sur les méthodes qualité utilisées, montre la divergence dans les processus de décision. La revue de l'état de l'art pointe également le

besoin d'une prise en compte simultanée des données opérationnelles, de l'expertise humaine et du niveau de risque.

L'approche proposée, RBAP : Risk Based Actions Priorities, dans cette section de la thèse apporte des éléments de réponse à la question centrale : *Comment unifier la gestion de toutes les actions de l'entreprise au sein d'un processus unifié et commun ?* Elle propose un modèle générique pour toutes les entités d'une entreprise. Il intègre les défaillances opérationnelles (par un processus similaire à la proposition RBMd), les analyses de risques et les pertes produit. Outre le traitement automatique des données, une intégration de l'expertise humaine a été proposée pour une validation des estimations et une amélioration de la qualité des décisions. Unifier les processus des plans d'actions permet dans un premier temps de simplifier la tâche des experts dans le choix d'une méthode parmi le large panel des outils qualité proposés, ce qui aide ensuite dans la gestion des priorités et dans le contrôle de tous les processus de manière unique.

Le modèle proposé a été expérimenté positivement par un déploiement industriel et une application informatique qui ont montré l'efficacité de l'approche et son apport sur un site industriel de haute technologie. La RBAP peut être déployée dans n'importe quel domaine industriel sous deux conditions :

- que la gestion des risques et la résolution des problèmes soient intégrés dans une base de données, formalisée et partagée.
- que la méthode de résolution des problèmes soit similaire à l'approche 8D.



Conclusion générale et perspectives

La gestion des dérives et des risques associés dans un système de production reste un défi quotidien pour les industriels. Savoir *quand* et *comment* agir, tout en optimisant les ressources et résultats industriels sont des questions au compromis délicat au sein des entreprises.

Cette thèse, développée dans le cadre d'une industrie de haute technologie, est centrée sur le domaine de la gestion des risques. Ce domaine, aux méthodologies largement étudiées dans la littérature et appliquées avec plus ou moins de succès dans le monde industriel, permet d'étudier les risques dans un système de production et de les prévenir. Ayant tout de même souvent démontré son intérêt en terme d'efficacité dans le cadre de la prévention d'évènements indésirables, ces méthodologies sont maintenant prônées par les normes mais font encore l'objet de critiques, ou même parfois d'un refus d'utilisation de la part des opérationnels. Ces réticences sont dans la plupart des cas associées au fait que ces méthodes semblent dans la forme proposée consommatrices en terme de ressources et non comprises en terme d'apport d'efficacité et de synergie opérationnelles.

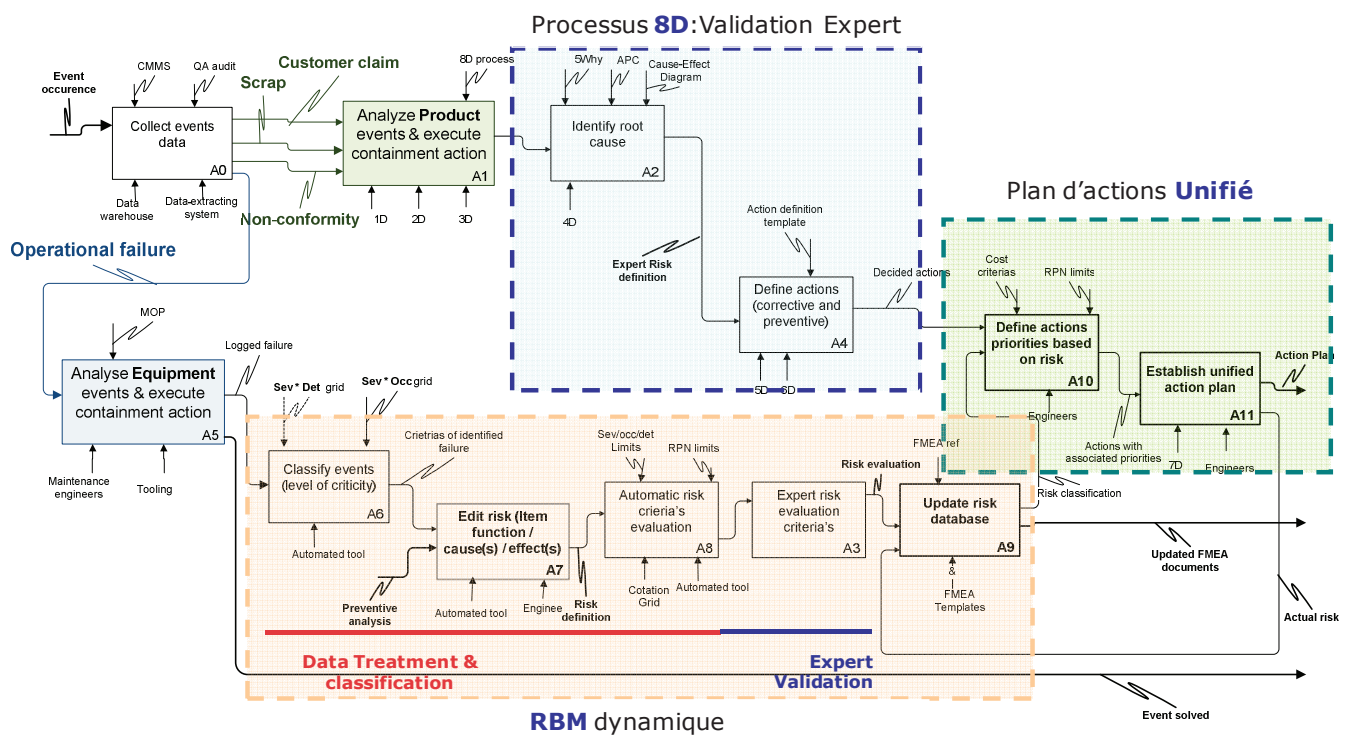
En partant du contexte industriel extrêmement dynamique des semi-conducteurs, les besoins d'amélioration des méthodes actuelles de gestion des actions de maintenance en particulier, et des plans d'actions en général, ont été abordés dans cette thèse sous un angle intégrant la notion fiabiliste de risque. Avec le souci constant d'une intégration opérationnelle des solutions envisagées, des questionnements ont émergé suite aux études de terrain et bibliographique. En particulier, une première question nous a mobilisés : « comment améliorer la performance des équipements en proposant un outil d'aide à la décision et de gestion des actions pour les ingénieurs maintenance ? » Puis une seconde question a émergé, « comment associer risques, évènements et expertise humaine, pour obtenir un processus unifié de gestion des plans d'actions ? »

Cette thèse a pour ambition de proposer une démarche intégrée et dynamique de contrôle des processus, que chaque opérationnel puisse s'approprier au quotidien. Focalisée sur les objectifs de l'entreprise, elle s'intègre au sein des outils qualité et opérationnels existants.

Sur la base d'une étude bibliographique de l'état de l'art dans le domaine de la gestion des risques et plan d'action associés, notre proposition a tout d'abord consisté à ajuster et améliorer la méthodologie RBM (Risk Based Maintenance) pour répondre à la problématique contextuelle précitée. Ceci a été fait en proposant aux experts une liste prédéterminée de risques prioritaires, un outil d'aide à la décision et de gestion des retours d'expérience assistant les ingénieurs maintenance pendant les deux phases d'identification et d'estimation des risques. L'approche dynamique développée a consisté à identifier les risques dans un système de gestion de maintenance et à intégrer l'expérience des évènements enregistrés au cours du cycle de production de façon semi-automatique dans les FMECA. Avec cette approche nommée RBM dynamique, il a été possible de suivre en temps réel les facteurs majeurs de pertes de performance et d'agir en conséquence sur les causes potentielles en fournissant pour les opérationnels une notion de priorité cohérente associée aux risques encourus.

Par ailleurs, la littérature concernant les plans d'actions rapporte de nombreux cas où l'évaluation des résultats et objectifs diffère selon les organisations qui, opérant isolément, utilisent souvent les mêmes méthodes et outils. Nous avons donc proposé un processus commun et unifié qui appuie les décisions. Par une approche similaire à la RBM dynamique, et ayant constaté les similitudes et complémentarités des processus 8D et FMECA dans le cadre du développement, de la gestion des plans d'action et l'identification des causes potentielles, nous avons pu envisager une généralisation de la proposition.

Enfin, les résultats obtenus et les outils réalisés pour supporter la démarche ont abouti à tester industriellement le concept de RBAP (Risk Based Action Priorities). C'est un processus dynamique autocontrôlé, enrichi par l'expérience des événements opérationnels (A0, A1, A5), gérant les priorités de façon commune (A10, A11) et proposant un classement aidant à la décision les opérationnels dans la gestion des événements.



IDEF0 : Gestion des événements et des plans d'actions (RBAP)

Cette proposition a permis d'établir des liens continus entre les événements réels des équipements et le niveau de risque estimé. RBAP est une méthode outillée, joignant l'expertise humaine et les événements réels, d'aide à la décision et de gestion des retours d'expérience.

En complément de publications académiques, le déploiement industriel des résultats de cette thèse a fourni :

- Un outil de gestion des plans d'action sur le réseau intranet de l'entreprise nommé FAIR8, utilisé quotidiennement par les opérationnels et dont le support a été

transféré au service informatique. L'intérêt d'unifier toutes les actions dans un seul processus avec des objectifs communs a ainsi été illustré par la capacité à améliorer la qualité des décisions prises par les experts et obtenir une vision opérationnelle globale sur les plans d'actions en cours.

- Un pilote RBM dynamique ayant démontré sa capacité à répondre aux problématiques précitées de la thèse est utilisé dans un des ateliers de Crolles 300. L'extension du déploiement à d'autres ateliers et d'autres sites de ST est à l'étude. De façon concrète, avec cette approche, la mise à jour des FMECA équipements est désormais plus régulière avec un suivi plus précis du niveau de risque. Les plans d'actions de maintenance sont revus en fonction du suivi automatique de la variation des risques validé par l'expertise humaine.

La RBAP peut être déployée avec profit dans n'importe quelle situation industrielle, voire de service, sous deux conditions :

- que la gestion des risques et la résolution des problèmes soient intégrées dans une base de données, formalisée et partagée.
- que la méthode de résolution des problèmes soit similaire à l'approche 8D.

L'application de ces travaux dans d'autres secteurs industriels de haute technologie, comme la pharmacie, l'énergie... permettrait de valider la généricité de l'approche et de l'adapter aux spécificités de ces secteurs.

Comme dans de nombreux travaux connexes, les risques ont été considérés comme indépendants : or dans la pratique, cette hypothèse s'avère peu conforme à la réalité et les praticiens conservent au sein de leur expertise une représentation des liens entre risques. Cet aspect mériterait d'être étudié en vue de compléter les modèles de cette thèse et d'en tester les performances.

Une autre voie d'amélioration de ce travail de thèse peut être l'intégration de la notion de 'détection' dans le calcul des priorités des événements. Le critère classique RPN peut être modifié par attribution de coefficients aux valeurs de S, O et D en fonction du mode de défaillance étudié.

Le développement de RBAP a permis de centraliser l'ensemble des plans d'actions dans un processus unifié avec des objectifs communs. L'évaluation de ces plans peut être également définie selon un modèle commun afin de comparer tous les résultats des organisations.

Une dernière ouverture pour des travaux complémentaires à cette thèse peut être l'utilisation de l'expertise capitalisée par la RBAP pour optimiser la conception des produits. Définir des liens entre des événements résolus et la phase de conception peut être un des supports pour mieux estimer et évaluer les risques liés aux nouveaux produits. Une thèse a démarré sur ce thème chez STMicroelectronics.



Bibliographie

A

- AFNOR, 2001. Norme européenne, NF EN 13306. Terminologie de la maintenance. .
- Aitken, S., 2005. An ontological account of action in processes and plans. *Knowledge-Based Systems*, 18(6), 295-305.
- Alsyouf, I., 2007. The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. *International Journal of Production Economics*, 105(1), 70-78.
- Arunraj, N. & Maiti, J., 2007. Risk-based maintenance--Techniques and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 142(3), 653-661.
- Aven, T. & Heide, B., 2009. Reliability and validity of risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, In Press, Corrected Proof. Available at: <http://www.sciencedirect.com/gate6.inist.fr/science/article/B6V4T-4WK487P-1/2/353d308ac9ab6b7b39fe531833dbd297> [Accédé Juillet 30, 2009].
- Azria, E. et al., 2007. Comment décider avec justesse, justice et équité ? Réflexion sur la décision en situation d'extrême prématurité: Deuxième partie : comment tendre vers une décision optimale ? Définition des conditions d'exercice de la décision. *Journal de Gynecologie Obstetrique et Biologie de la Reproduction*, 36(3), 245-252.

B

- Baccarini, D. & Archer, R., 2001. The risk ranking of projects: a methodology. *International Journal of Project Management*, 19(3), 139-145.
- Bassetto, S., 2005. *Contribution à la qualification et à l'amélioration des moyens de production, de manière opérationnelle, dynamique, en supportant les connaissances métier*. CER ENSAM de METZ.
- Bassetto, S., Siadat, A. & Martin, P., 2006. Mastering process control using risks typologies. *European Journal of Automated System (in French)*.
- Bruzelius, N., Flyvbjerg, B. & Rothengatter, W., 2002. Big decisions, big risks. Improving accountability in mega projects. *Transport Policy*, 9(2), 143-154.

C

- Cassanelli, G. et al., 2006. Failure Analysis-assisted FMEA. *Microelectronics and Reliability*, 46(9-11), 1795-1799.
- CEFM, 2001. FTC005 - La fabrication des circuits intégrés. Available at: STMicroelectronics Crolles - Confidential.
- Chapman, C., 1997. Project risk analysis and management--PRAM the generic process. *International Journal of Project Management*, 15(5), 273-281.

Chardonnet, A. & Thibaudon, D., 2003. *Le guide du PDCA de Deming - Progrès continu et management* Editions d'organisation.,

Charreaux, J., 2006. L'analyse financière. *Revue française de gestion*, 1, 109 à 137.

Chevreau, F., Wybo, J. & Cauchois, D., 2006. Organizing learning processes on risks by using the bow-tie representation. *Journal of Hazardous Materials*, 130(3), 276-283.

Chrysler LLC, Ford Motor Company & General Motors Corporation, 2008. *fmea : Potential Failure Mode & Effects Analysis : FMEA-4*,

Crepin, D. & Robin, R., 2001. *Résolution de problèmes : méthodes, outils de première et deuxième générations*,

D

Darling, S.S., 1996. Implementing a 'least cost' and 'risk focused' maintenance process. Dans *Proceedings of the 1996 4th ASME/JSME International Conference on Nuclear Engineering, ICONE-4. Part 4 (of 5), March 10, 1996 - March 14, 1996*. Proceedings of the ASME/JSME International Conference on Nuclear Engineering, ICONE. New Orleans, LA, USA: ASME, pp. 89-93.

DePinto, G., 1997. Managing Factory Risk to Improve Customer Satisfaction. , 179-186.

DOD, D.O.D., 1980. *MILITARY STANDARD: PROCEDURES FOR PERFORMING A FAILURE MODE EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS*, United State Of America.

Duarte, J.A.C., Craveiro, J.C.T.A. & Trigo, T.P., 2006. Optimization of the preventive maintenance plan of a series components system. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83(4), 244-248.

Duffus, J.H., 2001. Risk Assessment Terminology.

Duret, D. & Pillet, M., 2005. *Quality for manufacturing from ISO 9000 To Six Sigma*,

F

Faucher, J., 2004. *Livre Pratique de l'AMDEC* 1er éd., Dunod, L'Usine Nouvelle.

Fujiyama, K. et al., 2004. Risk-based inspection and maintenance systems for steam turbines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 81(10-11), 825-835.

G

Ganoulis, J. & Simpson, L., 2006. Environmental Risk Assessment and Management: Promoting Security in the Middle East and the Mediterranean Region. Dans *Environmental Security and Environmental Management: The Role of Risk Assessment*. pp. 245-253.

Gertsbakh, I., 2002. Reliability Theory with Applications to Preventive Maintenance. *IIE Transactions*, 34(12), 1111-1114.

Gourc, D., Vacher, B. & Pingaud, H., 2001. Manager les risques en projets : de la prise de conscience à la prise de confiance. *Communication et organisation n°20*.

H

Harte, J.M., Westenberg, M.R.M. & van Someren, M., 1994. Process models of decision making. *Acta Psychologica*, 87(2-3), 95-120.

He, X., Tong, J. & Chen, J., 2007. Maintenance risk management in Daya Bay nuclear power plant: PSA model, tools and applications. *Progress in Nuclear Energy*, 49(1), 103-112.

Herrou, B. & Elghorba, M., 2005. FMECA, a powerful tool for maintenance improvement. Case study for a compressor [in French]. Dans *CPI*. Casablanca, Morocco.

Hu, H. et al., 2009. Risk-based maintenance strategy and its applications in a petrochemical reforming reaction system. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(4), 392-397.

Hubac, S., 2007. STMicroelectronics CR2 Process Control Overview (Confidential).

I

ISO, 2005. ISO - International Organization for Standardization.

Iung, B. & Marquez, A.C., 2006. Special issue on e-maintenance. *Computers in Industry*, 57(6), 473-475.

K

Kaabi, J., 2004. *Contribution à l'ordonnancement des activités de maintenance dans les systèmes de production*. Thèse. Université de franche-comte.

Khan, F.I. & Abbasi, S.A., 1997. OptHAZOP--an effective and optimum approach for HAZOP study. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 10(3), 191-204.

Khan, F.I. & Abbasi, S.A., 2001. Risk analysis of a typical chemical industry using ORA procedure. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 14(1), 43-59.

Khan, F.I. & Abbasi, S.A., 1995. Risk analysis: a systematic method for hazard identification and assessment. , 9(2), 88.

Khan, F.I. & Haddara, M.M., 2003. Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for maintenance/inspection scheduling and planning. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 16(6), 561-573.

- Khan, F.I., Sadiq, R. & Husain, T., 2002. Risk-based process safety assessment and control measures design for offshore process facilities. *Journal of Hazardous Materials*, 94(1), 1-36.
- Kirchsteiger, C., 1999. On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 12(5), 399-419.
- Kletz, T.A., 1997. Hazop--past and future. *Reliability Engineering & System Safety*, 55(3), 263-266.
- Knoll, A., 1996. Quantitative Risk Matrices for On-Line Maintenance at a Nuclear Power Plant. , 260-261.
- Körte, J., 2003. Risk-based emergency decision support. *Reliability Engineering & System Safety*, 82(3), 235-246.
- Krishnasamy, L., Khan, F. & Haddara, M., 2005. Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18(2), 69-81.

L

- Labodova, A., 2004. Implementing integrated management systems using a risk analysis based approach. *Journal of Cleaner Production*, 12(6), 571-580.
- Labovsky, J. et al., 2007. Model-based HAZOP study of a real MTBE plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 20(3), 230-237.
- Labrousse, M., 2004. *Proposition d'un modèle conceptuel unifié pour la gestion dynamique des connaissances d'entreprise*, Thèse de doctorat en Génie Mécanique de l'Ecole Centrale de Nantes et de l'Université de Nantes,
- Levrat, E., Iung, B. & Crespo Marquez, A., 2008. E-maintenance: review and conceptual framework. *Production Planning and Control*, 19, 408-429.

M

- Matos, M.A., 2007. Decision under risk as a multicriteria problem. *European Journal of Operational Research*, 181(3), 1516-1529.
- Mauchand, M., 2007. *Modélisation pour la simulation de chînes de production de valeur en entreprise industrielle comme outil d'aide à la décision en phase de conception / industrialisation*. Thèse de doctorat en Génie Mécanique de L'École Centrale de Nantes et l'Université de Nantes.
- Mazur, A., 1985. Bias in risk-benefit analysis. *Technology in Society*, 7(1), 25-30.
- Mili, A. et al., 2009. Dynamic risk management unveils productivity improvements. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(1), 25-34.

Mili, A., Oulamara, A. & Portmann, M., 2006. Ordonnancement conjoint de la production et de la maintenance préventive. Dans *conférence roadef*. Grenoble.

Moore, G.E., 1965. Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, Volume 38(Number 8).

Motschman, T.L. & Moore, S.B., 1999. Corrective and preventive action. *Transfusion Science*, 21(2), 163-178.

Muellner, N. et al., 2007. A procedure to optimize the timing of operator actions of accident management procedures. *Nuclear Engineering and Design*, 237(22), 2151-2156.

Muller, A., Crespo Marquez, A. & Iung, B., 2008. On the concept of e-maintenance: Review and current research. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(8), 1165-1187.

N

Nakagawa, T. & Mizutani, S., 2009. A summary of maintenance policies for a finite interval. *Reliability Engineering and System Safety*, 94(1), 89-96.

Narayanagounder, S. & Gurusami, K., 2009. A New Approach for Prioritization of Failure Modes in Design FMEA using ANOVA. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49.

Niehaus, F., 2001. Use of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for nuclear installations. *Safety Science*, 40(1-4), 153-176.

O

Omdahl, T., 1988. *Reliability Technology, Human Error* , ASQC Quality press. Available at: [Accédé Juin 25, 2009].

P

Platje, A. & Wadman, S., 1998. From Plan-Do-Check-Action to PIDCAM: the further evolution of the deming-wheel. *International Journal of Project Management*, 16(4), 201-208.

Price, C.J. & Taylor, N.S., 2002. Automated multiple failure FMEA. *Reliability Engineering & System Safety*, 76(1), 1-10.

R

Redmill, F., 2002. Risk analysis - A subjective process. *Engineering Management Journal*, 12(2), 91-96.

Rosness, R., 1998. Risk Influence Analysis A methodology for identification and assessment of risk reduction strategies. *Reliability Engineering & System Safety*, 60(2), 153-164.

S

Sasou, K., Takano, K. & Yoshimura, S., 1996. Modeling of a team's decision-making process. *Safety Science*, 24(1), 13-33.

SEGUY, A., 2008. *Décision collaborative dans les systèmes distribués - Application à la E-Maintenance*. Institut National Polytechnique de Toulouse.

Shin, I., Lim, T.J. & Lie, C.H., 1996. Estimating parameters of intensity function and maintenance effect for repairable unit. *Reliability Engineering & System Safety*, 54(1), 1-10.

Sienou, A., 2009. *Proposition d'un cadre méthodologique pour le management intégré des risques et des processus d'entreprise*. Thèse de doctorat en Systèmes industriels de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

Simon, H., 1977. The new science of management decision (ed. revised). *Prentice-Hall*, New Jersey USA, (ISBN 0-1361-61636-7).

Stamatis, D.H., 2003. *Failure mode and effect analysis ...* - Google Recherche de Livres 2 éd.,

Sulek, J.M., Marucheck, A. & Lind, M.R., 2006. Measuring performance in multi-stage service operations: An application of cause selecting control charts. *Journal of Operations Management*, 24(5), 711-727.

T

Tavares, L.V., Antunes Ferreira, J.A. & Silva Coelho, J., 1998. On the optimal management of project risk. *European Journal of Operational Research*, 107(2), 451-469.

Tixier, J. et al., 2002. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15(4), 291-303.

Tomic, B., 1993. Risk based optimisation of maintenance - methods and approaches. Dans *European safety and reliability conference* . pp. 259–265.

Treacy, M. & Wiersema, F., 1997. The Discipline of Market Leaders: Choose Your Customers, Narrow Your Focus, Dominate Your Marke.

Tummala, V.R. & Mak, C., 2001. A risk management model for improving operation and maintenance activities in electricity transmission networks. *Journal of Operational Research society*, 125-134.

V

Vairaktarakis, G.L., 1999. Optimization tools for design and marketing of new/improved products using the house of quality. *Journal of Operations Management*, 17(6), 645-663.

W

Whitcomb, R. & Rioux, M., 1994. Failure modes and effects analysis (FMEA) system deployment in semiconductor manufacturing environment. Dans pp. 136-139.

Williams, T., 1995. A classified bibliography of recent research relating to project risk management. *European Journal of Operational Research*, 85(1), 18-38.

Y

Yaman, R. & Balibek, E., 1999. Decision making for facility layout problem solutions. *Computers & Industrial Engineering*, 37(1-2), 319-322.

Z

Zafra-Cabeza, A., Ridao, M.A. & Camacho, E.F., 2008. Using a risk-based approach to project scheduling: A case illustration from semiconductor manufacturing. *European Journal of Operational Research*, 190(3), 708-723.

Zhi, H., 1995. Risk management for overseas construction projects. *International Journal of Project Management*, 13(4), 231-237.

Zu, X., Fredendall, L.D. & Douglas, T.J., 2008a. The evolving theory of quality management: The role of Six Sigma. *Journal of Operations Management*, 26(5), 630-650.

Zu, X., Fredendall, L.D. & Douglas, T.J., 2008b. The evolving theory of quality management: The role of Six Sigma. *Journal of Operations Management*, 26(5), 630-650.

Du même auteur:

Article de journal :

Mili, A., Bassetto S., Siadat A. & Tollenaere M., 2009. Dynamic risk management unveil productivity improvements. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(1), 25-34.

Mili, A., Siadat A., Bassetto S., Hubac S. & Tollenaere M., 2009. A new approach of Risk Based Action Plan (RBAP) management applied to manufacturing domain. *Computers In Industry*.

[*Soumis](#)

Conférence internationales avec actes et comité de sélection :

Bassetto S., Mili, A., Siadat, 2007. Speeding-up experiences return during new productions industrialization. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Singapore*.

Mili, A. , Hubac S. & Bassetto S., 2007. Towards a more reliable industrialisation with risk analysis methods. *8th European Advanced Equipment Control/Advanced Process Control Conference -Dresden-Germany*.

Mili, A. , Hubac S., Bassetto S. & Siadat A., 2008. New approach for Risk update based on maintenance events. *IFAC WORLD CONGRESS, SEOUL : Corea.*

Mili A., Hubac S., Siadat A. & Bassetto S., 2008. Action plan management using knowledge management thru risk analysis approach. *ICMIT ,BANGKOK : Thaïlande.*

Mili A., Hubac S., Bassetto S., Siadat A. & Tollenaere M., 2009. Unified process for action plan management Case study in a research and production semiconductor factory. *3rd Annual IEEE International Systems Conference, Vancouver : Canada.*

Colloques nationaux et conférences sans actes :

Mili A., Oulamara A. & Portmann MC, 2007. Ordonnancement conjoint de la production et de la maintenance. *Conférence Roadef, Grenoble - France.*

Mili A., Tollenaere M. & Bassetto S., 2008 .Gestion des connaissances pour l'amélioration des plans d'actions par des analyses préliminaires. *Journées GDR MACS 13&14 mars – Roanne.*

Mili A., Tollenaere M. & Siadta A., 2008 .Unification de Gestion des plans d'actions en intégrant une estimation des risques et le retour d'expériences. *11ème Colloque National AIP-PRIMECA -22 au 24 avril -La plagne.*



Annexes

Annexe 1 [SPC-FDC- R2R](#)

SPC

Le Contrôle Statistique des Procédés ou SPC (pour Statistical Process Control) consiste à contrôler, à l'aide d'indicateurs statistiques, les performances et la stabilité des procédés. Le SPC est un outil indispensable pour avoir un pilotage rationnel du procédé de fabrication [MONTGOMERY 2001], [PILLET 2001]. Pour chaque étape du procédé de fabrication considérée comme critique, un échantillon de plaques d'un lot est mesuré automatiquement juste après l'étape de fabrication pour vérifier la conformité (centrage et dispersion). Ces mesures sont physiques et peuvent correspondre à des épaisseurs, des longueurs (ou dimension critique CD), une hauteur,... Pour chaque plaque, les mesures sont effectuées en plusieurs sites. Classiquement, chez STMicroelectronics les plaques 300 mm sont mesurées en 17 points. Le placement des 17 points a été optimisé lors d'un stage [PELISSIER 2004] et ces points se répartissent comme le montre la Figure 0.1 ci-dessous :

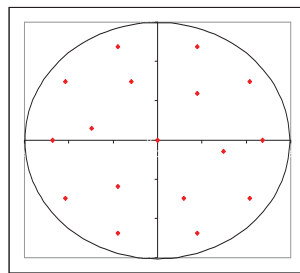


Figure 0.1 : Répartition des sites mesurés aux opérations de métrologie

En SPC, toutes les plaques et tous les sites ne sont pas mesurés pour des questions de temps de cycle et donc par conséquent de coût. Le SPC repose donc sur les résultats des mesures effectuées sur un échantillon de plaques mesurées en plusieurs sites.

Cette méthodologie de contrôle est appliquée sur trois différents types de mesures :

- Les *mesures physiques* effectuées sur un échantillon de plaques données. Ces mesures sont réalisées lors des étapes critiques (gravure, polissage mécano chimique,...) du procédé de fabrication par des outils des mesures appelés équipements de métrologie.
- Les *mesures électriques* effectuées à la fin de la conception du transistor ainsi qu'à la suite des opérations de fabrication des interconnexions. Ces mesures sont effectuées sur l'ensemble des plaques d'un lot sur des structures de tests situés autour du circuit électrique.
- Les *mesures électriques* effectuées en fin de ligne de production, appelées EWS (Electrical Wafer Sort). Ces tests sont effectués de manière systématique pour garantir aux clients la qualité des circuits livrés.

A partir de ces trois types de mesure, le contrôle de la ligne est assuré.

Ce contrôle est tout d'abord assuré par l'introduction de *limites de spécification* appliquées à chaque entité de mesure (c'est-à-dire à chaque site de mesure : actuellement 17 sur le site de STMicroelectronics). Ces limites ne doivent être en aucun cas franchies, pour ne pas risquer un dysfonctionnement du circuit électrique. Elles garantissent donc le bon fonctionnement *des circuits*.

De plus, pour renforcer le contrôle sur chaque étape, à partir des mesures décrites, des indicateurs statistiques (tels que la moyenne, l'écart type,...) sont calculés puis comparés à des limites de contrôle. Si ces *limites de contrôle* sont dépassées, l'équipement sera alors arrêté. Ces limites permettent de

vérifier le bon déroulement de l'étape de fabrication et de détecter des dérives des équipements. Ce contrôle est aujourd'hui visualisé à travers un système de cartes de contrôles.

Le Contrôle Statistique des Procédés, ainsi décrit et présenté en Figure 0.2, constitue la base de surveillance d'une ligne de production [KOHLI 2002].

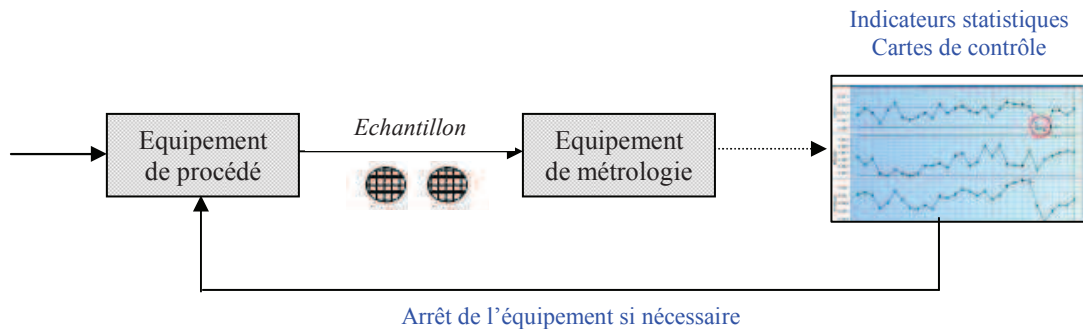


Figure 0.2 : Schéma du SPC sur un paramètre produit

Toutefois l'efficacité de ces contrôles repose sur la qualité et la fiabilité des mesures des outils de métrologie mais aussi des mesures de tests électriques. Ceci est aujourd'hui surveillé par un indicateur appelé Capabilité Machine (Cpm) qui permet d'évaluer la capacité des équipements à « bien mesurer ».

Cette première partie a permis de présenter le fonctionnement et l'intérêt du SPC. Ce premier niveau de contrôle n'est toutefois pas suffisant. Aussi, le contrôle des procédés est complété par un système, appelé FDC qui assure le contrôle des équipements en temps réel.

FDC

La *FDC* (Fault Detection and Classification) consiste à faire un suivi statistique des paramètres des équipements de procédé. Ainsi, pendant toute la durée du procédé de fabrication, des paramètres de l'équipement (appelés également variables *FDC*) sont collectés pour chaque wafer. Ces paramètres peuvent être des températures, des pressions, des émissions optiques... Pour chaque wafer, on obtient ainsi une série de courbes représentant l'évolution des variables *FDC* pendant le temps du procédé. Ces données sont très précieuses pour définir des corrélations entre les variables *FDC* et les problèmes observés sur les wafers. Différents indicateurs sont alors calculés à partir de ces courbes (moyennes, écart-type, maximum) et des limites de contrôle leur sont appliquées pour surveiller leur évolution. Ainsi, l'objectif de cette approche est de mieux maîtriser les dérives des équipements de procédé [SCANLAN 2003].

Un des intérêts de la *FDC* est de pouvoir contrôler le procédé en temps réel. En effet, les méthodes de contrôle traditionnelles des procédés ne peuvent souvent être réalisées qu'à l'aide de mesures effectuées après le traitement des wafers (exemple du *SPC*) : ceci impacte évidemment les temps de cycles de R&D et de fabrication. Le concept de *FDC* permet de suivre en temps réel l'évolution des variables des équipements de procédé et ainsi de détecter rapidement une anomalie de fonctionnement de la machine. La Figure 0.3 résume le fonctionnement de la *FDC*.

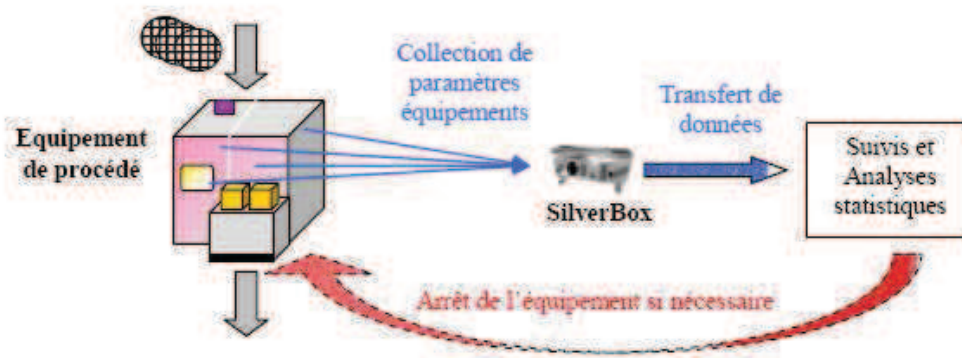


Figure 0.3: Résumé du fonctionnement de la FDC

Les paragraphes suivants abordent la mise en place d'indicateurs à partir des mesures sur les équipements de procédé et le calcul des limites de contrôle associées. De plus, un exemple est présenté pour clarifier le concept de contrôle *FDC*.

1.1.1 Mise en place d'indicateurs et de limites de contrôle

Les variables des équipements sont regroupées en trois catégories [ALEGRET 2006] :

- celles *non* collectées,
- celles dont les données sont *uniquement* collectées,
- celles dont les données sont collectées *et* analysées.

Les outils *FDC* utilisent des systèmes d'analyses univariées et multivariées. L'outil industriel de collecte et d'analyse des données en temps réel choisi sur le site de Crolles2 est la solution "Maestria" de la société PDF. Cet outil permet, à partir des données temporelles collectées durant le procédé, de créer des indicateurs statistiques pour chacune des variables choisies de l'équipement.

Ainsi, différents indicateurs peuvent être calculés tels que la moyenne, l'écart-type ou l'écart maximum. Les indicateurs calculés à partir des courbes temporelles vont dépendre du procédé et du paramètre collecté. C'est à l'ingénieur procédé de déterminer les indicateurs pertinents. Il est également possible de mettre en place des indicateurs multivariés qui sont des combinaisons de plusieurs variables.

A Crolles2, les limites sont actuellement définies par les ingénieurs en se basant sur leur expérience et leur connaissance du procédé. Un calcul automatique des limites de contrôle est en cours de définition. Il s'effectuerait de la même façon que pour les *SPC*. Les ingénieurs s'appuieraient alors sur ce calcul automatique pour redéfinir les limites. Pour les indicateurs multivariés, le choix des limites est fait à partir de modélisations mathématiques basées sur l'Analyse en Composantes Principales (*ACP*) [BUCLON 2005].

Cette approche de contrôle des équipements requiert toutefois une excellente connaissance des équipements afin d'évaluer la pertinence des paramètres *FDC* à collecter, des indicateurs à calculer et des limites de contrôle à appliquer.

Des limites correctement mises en place sur des indicateurs pertinents permettent de contrôler le procédé en temps réel. Ceci permet un gain de temps mais aussi de précision dans le contrôle. La surveillance du comportement des variables des équipements de production valide ainsi les conditions de procédé lors de chacune des opérations de fabrication.

Il est intéressant de noter qu'il existe d'autres limites que les limites de contrôle *FDC* : les limites équipement et les limites de rejet. Les limites équipement sont des limites au-delà desquelles l'équipement peut-être endommagé et les limites de rejet sont des limites au-delà desquelles le wafer est mis au rebut. Les limites *FDC* sont ainsi plus serrées que ces limites pour permettre d'éviter la mise au rebut des wafers. La Figure 0.4 résume ces différentes limites.

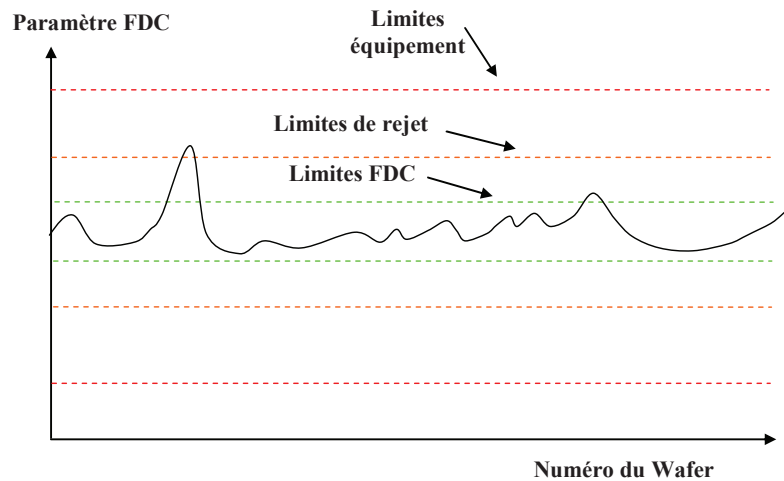


Figure 0.4: Différence entre limites équipement, limite de rejet et limite FDC

Run to Run

Le Run-to-Run est un concept qui propose la création de boucles de régulation pour mieux maîtriser les causes connues de la variabilité naturelle des procédés. L'objectif de ces boucles de régulation est donc de garantir la stabilité des processus de fabrication tout au long de la vie de l'équipement [MOYNE 2001]. Pour ce faire, une recette de fabrication est modifiée en temps réel en fonction d'un modèle basé sur les mesures effectuées sur les plaques (mesure de métrologie) et les conditions expérimentales lors des procédés (ex : usure d'un tissu de polissage pour le polissage mécano chimique).

Les boucles de régulation serviront de lien entre les outils préexistants du contrôle des procédés (SPC et FDC) comme le montre la Figure 0.5:

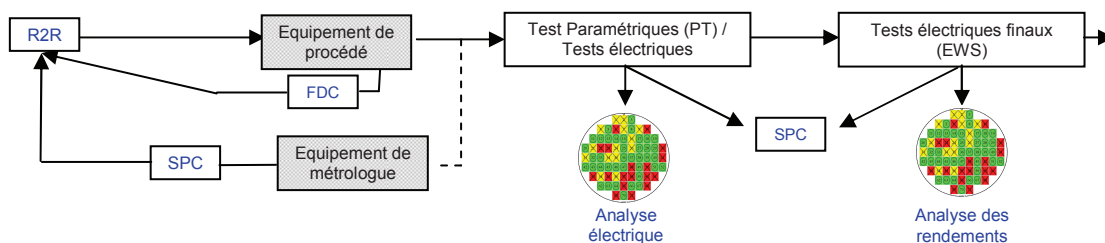


Figure 0.5 : Relation entre les étapes de production, la SPC, la FDC et le R2R

Motivations et enjeux du Run-To-Run :

Le « Run-To-Run » est aujourd'hui utilisé dans de nombreux domaines avec notamment de multiples applications en chimie, biologie et pharmacie [HERMANTO 2006].

Toutefois c'est en microélectronique que ce concept c'est le plus largement développé durant les dernières années. Les raisons de ce développement sont principalement liées à la course à la miniaturisation. En effet, la diminution des dimensions complexifie de manière non négligeable la fabrication des transistors (nombre de couche et donc de masques en photolithographie). De ce fait, pour garantir le bon fonctionnement des transistors, les tolérances sur l'ensemble des dimensions lors de la fabrication se réduisent considérablement. Ainsi chaque étape du procédé de fabrication doit être la plus stable et la plus contrôlée possible. Ce contrôle est généralement effectué à l'aide des deux outils de contrôle de procédé de la microélectronique : SPC, FDC. Cependant ces outils sont aujourd'hui insuffisants pour garantir la stabilité des étapes. Les boucles de régulation vont permettre de compléter l'approche de contrôle des procédés déjà existants pour obtenir les spécificités demandées (notamment en termes de variabilité) des nouvelles technologies.

Annexe 2 Grilles de cotation

FTM Ranking Table for EQUIPMENT FMEA

RANK	SEVERITY ON EQUIPMENT	SEVERITY ON PARTS	RANK	OCCURENCE	RANK	DETECTION
1	NO DOWNTIME	NO INCIDENCE	1	UNLIKELY	1	100% IMMEDIATELY DETECTED ¹ (ALARM/ABORT EQUIPMENT)
2	DOWNTIME < 30 mn	ASPECT FAILURE or GENERATE A RECYCLING ¹	2	1 EVENT/ LIFETIME	2	100% DETECTED ² WITH ALARM MGT OR APC ³
3	DOWNTIME FROM 30 TO 60 mn	YIELD LOSS ON A SINGLE WAFER	3	1 EVENT / YEAR	3	WARNING
4	DOWNTIME FROM 1 TO 2 HOURS	GENERATE A REWORK ² (NCL)	4	From 2 to 4 EVENTS / YEAR	4	VISUAL DETECTION ON PRODUCT OR EQUIPMENT
5	DOWNTIME FROM 2 TO 4 HOURS	GENERATE A WAFER SCRAP (≤ 5 WAFERS)	5	From 5 to 12 EVENTS / YEAR	5	ROUTINE EQUIPMENT QUALIFICATION or PARAMETRIC TEST
6	DOWNTIME FROM 4 TO 12 HOURS	YIELD LOSS ON MULTIPLE WAFERS	6	2 or 3 EVENTS / MONTH	6	SCHEDULED MAINTENANCE or QA CONTROL DIFF
7	DOWNTIME FROM 12 TO 24 HOURS	SCRAPPED LOT(S)	7	From 1 to 6 EVENTS / WEEK	7	100% DETECTED AT EWS or EWS QA CONTROL
8	DOWNTIME > 24 HOURS	SCRAPPED AT ASSEMBLY	8	1 EVENT/DAY	8	UNSCHEDULED MAINTENANCE or FINAL TEST
9	BROKEN MACHINE	NON FUNCTIONALITY ³	9	1 EVENT/SHIFT	9	SEEN IN RELIABILITY MONITORING
10	NON-COMPLIANCE TO GOVERNMENT REGULATIONS	AFFECTS PRODUCT'S RELIABILITY or AFFECTS PEOPLE SAFETY ⁴	10	1 EVENT/HOUR	10	DETECTED BY CUSTOMER

¹ **Recycling**: action on a lot in order to make it conform to the requirements by using a validated/approved procedure (ex: photo,...)

² **Rework**: action on non conforming wafer lot in order to make it conform to the requirements by adapting a new recipe

³ it means possibility of Customer's Manufacturing or 0km defects

⁴ **People Safety**: To be considered if the process is known for having a potential impact on final consumer's safety (field defect)

¹ Maximum 1 wafer impacted

² Maximum 1 lot impacted

³ FDC with automatic equipment state down

FTM Ranking Table for PROCESS EQUIPMENT FMEA

SEVERITY	RANK	OCCURENCE				RANK	DETECTION
		Event or Lot	Failure rates (in ppm)	Ppk	Subjective*		
NO INCIDENCE	1	UNLIKELY	≤10	≥1.67	UNLIKELY	1	100% IMMEDIATELY DETECTED ¹ (ALARM/ABORT EQUIPMENT)
ASPECT FAILURE or GENERATE A RECYCLING ¹	2	1 LOT OR EVENT/YEAR	100	≥1.30	RARE	2	100% DETECTED ² WITH ALARM MGT OR APC ³
YIELD LOSS ON A SINGLE WAFER	3	FROM 2 TO 4 LOTS OR EVENTS / YEAR	500	≥1.20	VERY LOW	3	100% DETECTED AFTER THE RUN ON LOT MONITORING
GENERATE A REWORK ² (NCL)	4	FROM 5 TO 12 LOTS OR EVENTS / YEAR	1K	≥1.10	LOW	4	100% DETECTED SOME STEPS/OPERATIONS AFTER ON LOT MONITORING
GENERATE A WAFER SCRAP (≤ 5 WAFERS)	5	FROM 2 TO 5 LOTS OR EVENTS / MONTH	2K	≥1.00	MODERATE	5	SAMPLING ON LOT MONITORING OR 100% DETECTED AT ROUTINE EQUIPMENT QUALIFICATION (DAILY OR WAFER AT RISK < 500)
YIELD LOSS ON MULTIPLE WAFERS	6	SEVERAL LOTS OR EVENTS / WEEK	5K	≥0.94	LIKELY	6	100% DETECTED AT ROUTINE EQUIPMENT QUALIFICATION (WEEKLY OR WAFER AT RISK > 500)
SCRAPPED LOT(S)	7	1 LOT OR EVENT/DAY	10K	≥0.86	VERY LIKELY	7	100% DETECTED AT PARAMETRIC TEST
SCRAPPED AT ASSEMBLY	8	1 WAFER/LOT	20K	≥0.78	HIGH	8	100% DETECTED AT EWS or EWS QA CONTROL
NON FUNCTIONALITY AT CUSTOMER ³	9	SEVERAL WAFERS / LOT OR RUN	50K	≥0.55	VERY HIGH	9	SEEN IN RELIABILITY MONITORING
AFFECTS PRODUCT'S RELIABILITY or AFFECTS PEOPLE SAFETY ⁴	10	EACH WAFER	≥ 100K	< 0.55	SYSTEMATIC	10	DETECTED BY CUSTOMER

¹ **Recycling**: action on a lot in order to make it conform to the requirements by using a validated/approved procedure (ex: photo,...)

² **Rework**: action on non conforming wafer lot in order to make it conform to the requirements by adapting a new recipe

³ it means a possible effect at Customer's manufacturing or 0km

⁴ **People Safety**: To be considered if the process is known for having a potential impact on final consumer's safety (field defect)

* for R&D only (at new techno development)

¹ Maximum 1 wafer impacted

² Maximum 1 lot impacted

³ FDC with automatic equipment state down

100%: 100% lots are measured but not 100% of wafers

FTM RANKING TABLE FOR PROCESS

RANK	SEVERITY	RANK	OCCURRENCE (Based on statistical data)	OCCURRENCE (Subjective)	RANK	DETECTION
1	NO INCIDENCE	1	UNLIKELY	UNLIKELY	1	100% IMMEDIATELY DETECTED
2	ASPECT FAILURE or GENERATE A RECYCLING ¹	2	1 LOT OR EVENT/YEAR	RARE	2	REAL TIME SPC MONITORING (OCAP)
3	YIELD LOSS ON A SINGLE WAFER	3	FROM 2 TO 4 LOTS OR EVENTS / YEAR	VERY LOW	3	100% DETECTED AFTER THE RUN
4	GENERATE A REWORK ² (NCL)	4	FROM 5 TO 12 LOTS OR EVENTS / YEAR	LOW	4	100% DETECTED SOME STEPS/OPERATIONS AFTER
5	GENERATE A WAFER SCRAP (4 5 WAFERS)	5	FROM 2 TO 5 LOTS OR EVENTS / MONTH	MODERATE	5	100% DETECTED AT PARAMETRIC TEST
6	YIELD LOSS ON MULTIPLE WAFERS	6	SEVERAL LOTS OR EVENTS / WEEK	LIKELY	6	100% DETECTED AT QA CONTROL DIFF
7	SCRAPPED LOT(S)	7	1 LOT OR EVENT/DAY	VERY LIKELY	7	100% DETECTED AT EWS or EWS QA CONTROL
8	SCRAPPED AT ASSEMBLY	8	1 WAFER/LOT	HIGH	8	100% DETECTED AT FINAL TEST
9	NON FUNCTIONALITY AT CUSTOMERS ³	9	SEVERAL WAFERS / LOT OR RUN	VERY HIGH	9	100% SEEN IN RELIABILITY MONITORING
10	AFFECTS PRODUCT'S RELIABILITY or AFFECTS PEOPLE SAFETY ⁴	10	EACH WAFER	SYSTEMATIC	10	DETECTED BY CUSTOMER

1 **Recycling:** action on a lot in order to make it conform to the requirements by using a validated/approved procedure (ex: photo, ...)

2 **Rework:** action on non conforming wafer/lot in order to make it conform to the requirements by adapting a new recipe

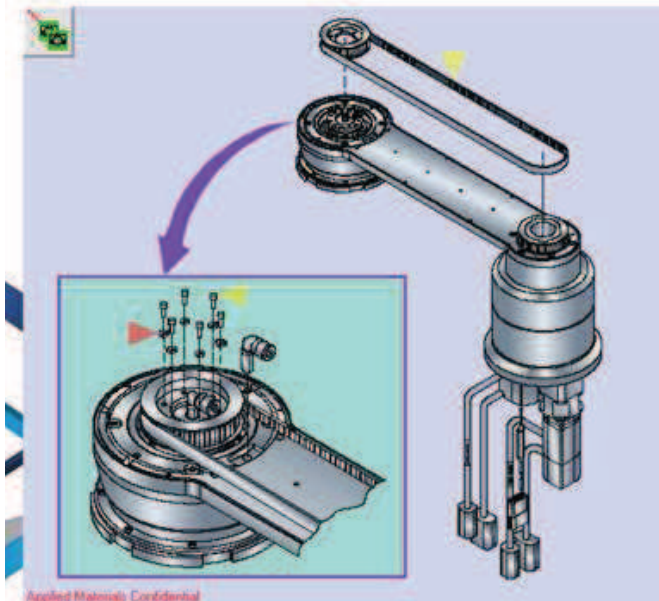
3 it means a possible effect at Customer's manufacturing or Otm

4 **People Safety:** To be considered if the process is known for having a potential impact on final consumer's safety (field defect)

100%: 100% lots are measured but not 100% of wafers

Annexe 3 Analyse fonctionnelle et FMECA

Polisher – Pad Conditionner



Le Pad Conditionner permet de conditionner le pad pendant le process pour raviver l'abrasion du pad. Le bras possède un mouvement de balayage, alors que la tête a un mouvement de montée – descente et un mouvement de rotation et vient appuyer sur le pad afin d'éliminer tous résidus de Process.



wafer_head

Permit to maintain the wafer sticker on the mp during the polishing.

precision of the movement and without constraint on the wafer, pressure, rotation speed

polish_head

Polish the wafer with the rotation motion and the chemical fluid delivery.

rotation speed, good slurry distribution

polisher

pad_conditionner

permit the conditioning of the pads in order to maintain it qualities. that to maintain stable the polishing speed.

constant achievement of the pad conditioning (long time)

consumable

Maintains the properties of the equipment in optimal level.

The good consumable in the spot, quality of supplied consumable.

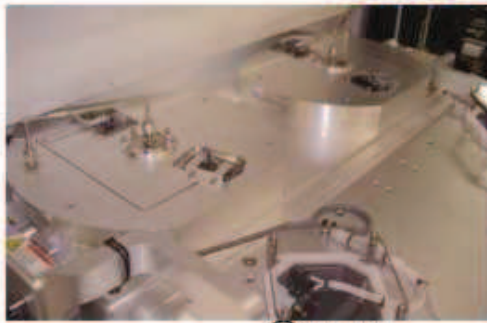
mp cleaning

Permit to spray the polishing area with diw.

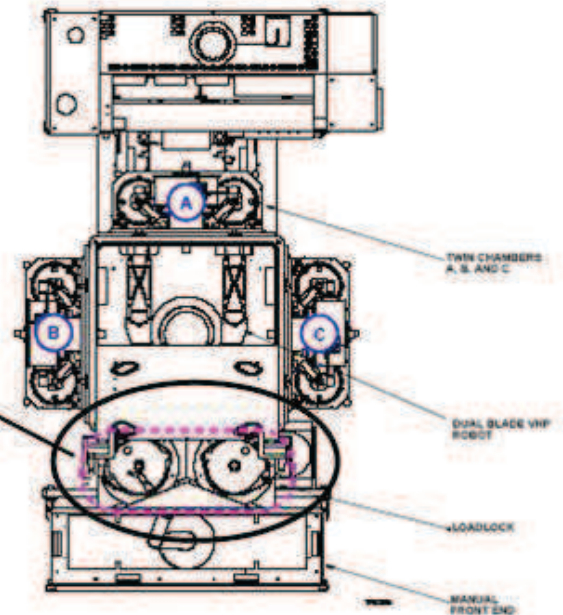
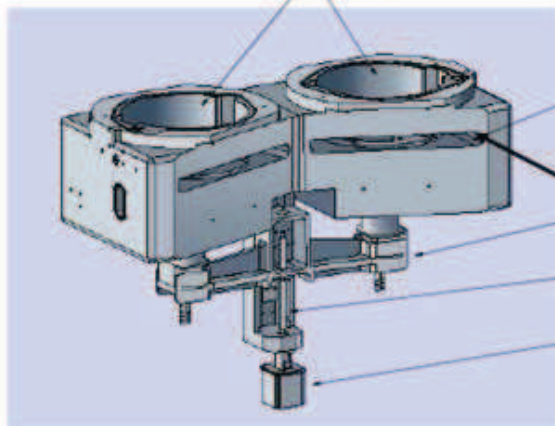
good distribution

LOADLOCK MODULES

— ST Confidential —



Sas de transfert entre les ports de chargements et les twins chambers.
Stockage max de 6 fois deux paires.



load lock module

load lock	permit to transfer the wafers from the fi to buffer and reverse order	pressure; temperature
vhp robot	Handling and wafer positioning into the chambers.	to the right place, repeatability , vacuum integrity , no contamination, no breakage
buffer	transfer area between the load lock (II) and process chamber	correct positionment;
ipup(integrated pump)	permit to have vacuum in II and buffer	low pressure; low pumping time
erp	Permit the cooling of the wafers after the process chamber and before putting it in the foup.	Right temperature in required time.
iso valve (isolation)	permit to insolate the area that will be ventilate (II or buffer)	leak proof; spec (7mtorr/min)
mfc (mass flow controller)	Regulate the pressure in the chamber.	right pressure in the chambers

	needle-valves	Permit to regulate the slit valve or doors opening or closure speed.	spec (75 psi)
--	---------------	--	---------------

Annexe 4 Exemple FMECA

FMEA Type (Eqpt, Module or Prdt) :Recipe

Department : Patterning

Section : Etch

Owner : Lussiana Pascal

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

Title : Process Recipe BPADO-I-ALL-A2;A3;A4 on EL23X BE

Creation date: 04 November 2004

Revision date : 09-04-2009

Team members : P.Lussiana, F.Mounier

Actual risk											Risk actions					Actions taken & Effective Date		
N°	Item/Function	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	S E V	C L A S S	Potential Cause/ Mechanism of Failure	O C C	Current Controls Prevention	Current Controls Detection	D E T	R P N	Recommended Actions	Responsible & Target Completion Date	Forecasted				
														S E V	O C C		D E T	R P N
1	Recovery	Not etch correctly/underetch	Scrap 1 or 2 wafers	4	C	Procedure	2		Faxio after polymer removing	3	24	Faxio implementation after polymer removing		4	2	3	24	Re-quoted on 04 June 2007after enough passing of time (OCC 4--> 3) Re-quoted on 09 april 2009 after Faxio implementation during years 2008
2	Recovery	Not etch correctly/over etch	Scrap 1 or 2 wafers	5		Procedure	3		Parametric test	7	105			5	3	7	105	Re-quoted on 04 June 2007after enough passing of time (OCC 4--> 3)
3	Wrong recipe	Contents	Parametric fails resultin in scrap of several lots	7		Human error	2		Parametric test	7	98			7	2	7	98	
4	(De)Chucking	Abort	Wafer breakage or Defectivity resulting in yield loss for one wafer	5		Procedure	2		Alarm	1	10			5	2	1	10	
5	(De)Chucking	Failure	Defectivity resulting in yield loss for one wafer (IMDTOP crunch)	6		Mecanical stress	4		Alarm + FDC on DA	1	24			6	4	1	24	defect appears during years 2008. Chiller temperature contrôle also leads to imdtop crunch. ESC change solve the issue
6	WAC	Abort	Generate cosmetic drfit	2		Procedure	3		Alarm	1	6			2	3	1	6	
7	Main Etch step	non uniform / under / over etch	Etchrate drift resulting in endpoint drift and/or alarm for max endpt time.	6		Pressure	1		Alarm	1	6			6	1	1	6	
8	Main Etch step	non uniform / under / over etch	Etchrate drift resulting in endpoint drift and/or alarm for max endpt time.	6	C	Process Kit	3		Deconditioning effect impacts yield of other processes. Yield effect detected at Parametric Test.	5	90	Dedicated chamber for PADO etch	L Casteran / Janet Tinkler w43 and Massimiliano w12 05	6	3	5	90	Dedicated chamber for PADO etch since Q1 2005
9	Main Etch step	non uniform / under / over etch	Etchrate drift resulting in endpoint drift and/or alarm for max endpt time.	6		Process Kit	1		Chamber dedicated	2	12			6	1	2	12	
10	Main Etch step	non uniform / under / over etch	Etchrate drift resulting in endpoint drift and/or alarm for max endpt time.	6		RF	1		Alarm	1	6			6	1	1	6	
11	Main Etch step	Definition	Etchrate drift resulting in endpoint drift and/or alarm for max endpt time.	6		Design sensitivity (large range of %open areas)	6		Alarm	1	36	Change optical endpoint sensitivity to detect on all products	Massimiliano Cantiano / L Casteran	6	6	1	36	Algorithm was changed
12	Main Etch step	Definition	Etchrate drift resulting in endpoint drift and/or alarm for max endpt time.	6		Process window	6		Alarm	1	36	Improve the WAC.	J. Tinkler / M. Massadier (Lam)	6	6	1	36	dedicated chamber => Wac improvement no more needed
13	Main Etch step	non uniform / under / over etch	Etchrate drift resulting in endpoint drift and/or for early end point.	4		Process window	6		Alarm	1	24	FDC on ME process Time Process window on going	P.Lussiana	4	6	1	24	Reduce ME over etch : done week3 but not efficient enough
14	Main Etch step	non uniform / under / over etch	Etchrate drift resulting in endpoint drift and/or for early end point.	4		Mix produc effect	6		Alarm	1	24	Optimize ME over etch	P.Lussiana/M. Massardier (Lam)	4	6	1	24	Reduce ME over etch : done week3 but not efficient enough
15	Main Etch step	non uniform / under / over etch	Etchrate drift resulting in endpoint drift and/or for early end point.	1		Mix produc effect	1		Alarm	1	1	Optimize Auto Dry clean after etch lot	P.Lussiana	1	1	1	1	Reduce ME over etch : done week3 but not efficient enough
16	In-Situ Strip	non uniform / under / over strip	Defectivity resulting in yield loss	6		Gases	1		Detected some steps after	6	36			6	1	6	36	

Annexe 5 Extrait du programme VB

```

Attribute VB_Name = "Failures_BH_Update"
Option Explicit

Sub FMEA_BH_Update_UnSched(Year As String, Week As String, Month As String,
workshop As String, DataCollection As String, FilesLocation As String)

Dim r As Range
Dim ClasseurToWriteIn As Workbook
Dim SheetToWriteIn As Worksheet
Dim PathWrite As String
Dim LastWeek As String
Dim LastYear As String
Dim NextWeek As String
Dim ClasseurToReadIn As Workbook
Dim SheetToReadIn As Worksheet
Dim ClasseurToReadIn1 As Workbook
Dim SheetToReadIn1 As Worksheet
Dim commentaire As String
Dim Date_Req As String
Dim First_Dated As String
Dim Last_Dated As String
'*****
'variables de lectures et d'écriture
Dim LigneToReadIn As Integer
Dim ColumnToReadIn As Integer
Dim LigneToReadIn_ForQuantity_Update As Integer
Dim ColumnToReadIn_ForQuantity_Update As Integer
Dim LigneToWriteIn_ForQuantity_Update As Integer
Dim ColumnToWriteIn_ForQuantity_Update As Integer
Dim LigneToWriteIn_ForOccurence_Update As Integer
Dim ColumnToWriteIn_ForOccurence_Update As Integer
Dim LigneToWriteIn As Integer
Dim ColumnToWriteIn As Integer

Dim Quantity As Integer
Dim New_Quantity As Integer
Dim Nb_Month As Integer
Dim Nb_Tool As Integer
Dim IsSameRisk As Boolean

Dim Occurence As Integer
Dim Severity As Integer
Dim Detection As Integer
'*****

LastWeek = "W" & Mid(Week, 2) - 1
NextWeek = "W" & Mid(Week, 2) + 1
LastYear = Year - 1
'on ouvre le fichier de report et on l'enregistre sous un autre nom :
PathWrite = FilesLocation & "FMEA_REPORT\"

' Fichier de base (evènements de la semaine ou cumul année ):
If DataCollection = "Cumul" Or DataCollection = "For the Week" Then

'on va créer le fichier des Risk concatenated
Set ClasseurToReadIn = Workbooks.Open(FilesLocation & "Entrance_points\" &
workshop & "\All_Unsched_Y" & Year & "_" & Week & ".xls")

```

```

'on l'enregistre sous un autre nom pour pouvoir effacer des lignes
ClasseurToReadIn.SaveAs (FilesLocation & "Entrance_points\Temp\Temp.xls")
Set SheetToReadIn = ClasseurToReadIn.Worksheets(1)
'-----'
'----- CUMMUL SUR UNE ANNEE -----'
'-----'

ElseIf DataCollection = "For the year" Then
Dim last_line As Integer

'MsgBox (FilesLocation & "\FMEA_REPORT" & Workshop & "REPORT_PER_WEEK_" &
LastYear & "-" & Week & "_To_" & Year & "-" & LastWeek & ".xls")
Set ClasseurToReadIn = Workbooks.Open(FilesLocation & "FMEA_REPORT\" &
workshop & "\REPORT_PER_WEEK_" & LastYear & "-" & Week & "_To_" & Year &
"-" & LastWeek & ".xls")
ClasseurToReadIn.SaveAs (FilesLocation & "FMEA_REPORT\" & workshop &
"\REPORT_PER_WEEK_" & LastYear & "-" & NextWeek & "_To_" & Year & "-" &
Week & ".xls")
Set SheetToReadIn = ClasseurToReadIn.Worksheets(1)
LigneToReadIn = 5
Do
If SheetToReadIn.Cells(LigneToReadIn, 1) = Week & "_" & LastYear Then
'MsgBox SheetToReadIn.Cells(LigneToReadIn, 1)
Set r = SheetToReadIn.Range(SheetToReadIn.Cells(LigneToReadIn, 1),
SheetToReadIn.Cells(LigneToReadIn, 255))
r.Delete Shift:=xlUp
LigneToReadIn = LigneToReadIn - 1
End If
LigneToReadIn = LigneToReadIn + 1
Loop Until SheetToReadIn.Cells(LigneToReadIn, 1) = ""
last_line = LigneToReadIn
'MsgBox last_line

Set ClasseurToReadIn1 = Workbooks.Open(FilesLocation & "FMEA_REPORT\" &
workshop & "\REPORT_For_" & Week & "_" & Year & ".xls")

ClasseurToReadIn1.SaveAs (FilesLocation & "FMEA_REPORT\" & workshop &
"\REPORT_For_" & Week & "_" & Year & ".xls")
MsgBox FilesLocation & "FMEA_REPORT\" & workshop & "\REPORT_For_" & Week &
"_" & Year & ".xls"
Set SheetToReadIn1 = ClasseurToReadIn1.Worksheets(1)

LigneToReadIn = 5
Dim r1 As Range
Dim r100 As Range

Do
LigneToReadIn = LigneToReadIn + 1
Loop Until SheetToReadIn1.Cells(LigneToReadIn, 1) = ""
'MsgBox LigneToReadIn

Set r = SheetToReadIn1.Range(SheetToReadIn1.Cells(5, 1),
SheetToReadIn1.Cells(LigneToReadIn - 1, 254))
Set r1 = SheetToReadIn1.Range(SheetToReadIn1.Cells(last_line, 2),
SheetToReadIn1.Cells(last_line + LigneToReadIn - 6, 254))

r1.Value = r.Value
Set r1 = SheetToReadIn1.Range(SheetToReadIn1.Cells(last_line, 1),
SheetToReadIn1.Cells(last_line + LigneToReadIn - 6, 1))
r1.Value = Week & "_" & Year

```

```

ClasseurToReadIn.Save
ClasseurToReadIn.Close

Set ClasseurToReadIn = Workbooks.Open(FilesLocation & "FMEA_REPORT\" &
workshop & "\REPORT_PER_WEEK_" & LastYear & "-" & NextWeek & "_To_" & Year
& "-" & Week & ".xls")
ClasseurToReadIn.SaveAs (FilesLocation & "FMEA_REPORT\" & workshop & "\" &
Year & "_" & Week & "_UPDATED_REPORT.xls")
Set SheetToReadIn = ClasseurToReadIn.Worksheets(1)

Dim count_line As Integer
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim Workshop1 As String
Dim Tool1 As String
Dim Module1 As String
Dim FC1 As String
Dim FC2 As String
Dim Qty As Double
Dim Dur As Double
Dim data_week As String

count_line = last_line + LigneToReadIn - 6
i = 5

Do
    Workshop1 = SheetToReadIn.Cells(i, 2)
    Tool1 = SheetToReadIn.Cells(i, 3)
    Module1 = SheetToReadIn.Cells(i, 4)
    FC1 = SheetToReadIn.Cells(i, 5)
    FC2 = SheetToReadIn.Cells(i, 6)
    Qty = SheetToReadIn.Cells(i, 8)
    Dur = SheetToReadIn.Cells(i, 9)
    data_week = SheetToReadIn.Cells(i, 1)
    j = i + 1
    Do

        If (SheetToReadIn.Cells(j, 2) = Workshop1) And
(SheetToReadIn.Cells(j, 3) = Tool1) And (SheetToReadIn.Cells(j, 4) =
Module1) And (SheetToReadIn.Cells(j, 5) = FC1) And (SheetToReadIn.Cells(j,
6) = FC2) Then

            'MsgBox Workshop1 & "_" & Tool1 & "_" & Module1 & "_" & FC1
& "_" & FC2

            Qty = Qty + SheetToReadIn.Cells(j, 8)
            Dur = Dur + SheetToReadIn.Cells(j, 9)

            Set r1 = SheetToReadIn.Range(SheetToReadIn.Cells(j, 1),
SheetToReadIn.Cells(j, 255))
            r1.Delete Shift:=xlUp
            count_line = count_line - 1

        End If

        j = j + 1

    Loop Until (j > count_line)
    SheetToReadIn.Cells(i, 8) = Qty
    SheetToReadIn.Cells(i, 9) = Dur
    '-----

```

```

Dim moy_downtime As Double
Dim sev As Double
moy_downtime = Dur / Qty
If moy_downtime = 0 Then
    sev = 1
ElseIf moy_downtime < 0.5 Then
    sev = 2
ElseIf 0.5 <= moy_downtime And moy_downtime < 1 Then
    sev = 3
ElseIf 1 <= moy_downtime And moy_downtime < 2 Then
    sev = 4
ElseIf 2 <= moy_downtime And moy_downtime < 4 Then
    sev = 5
ElseIf 4 <= moy_downtime And moy_downtime < 12 Then
    sev = 6
ElseIf 12 <= moy_downtime And moy_downtime < 24 Then
    sev = 7
ElseIf 24 <= moy_downtime Then
    sev = 8
End If
'-----
SheetToReadIn.Cells(i, 11) = sev
'-----

Dim occ As Double

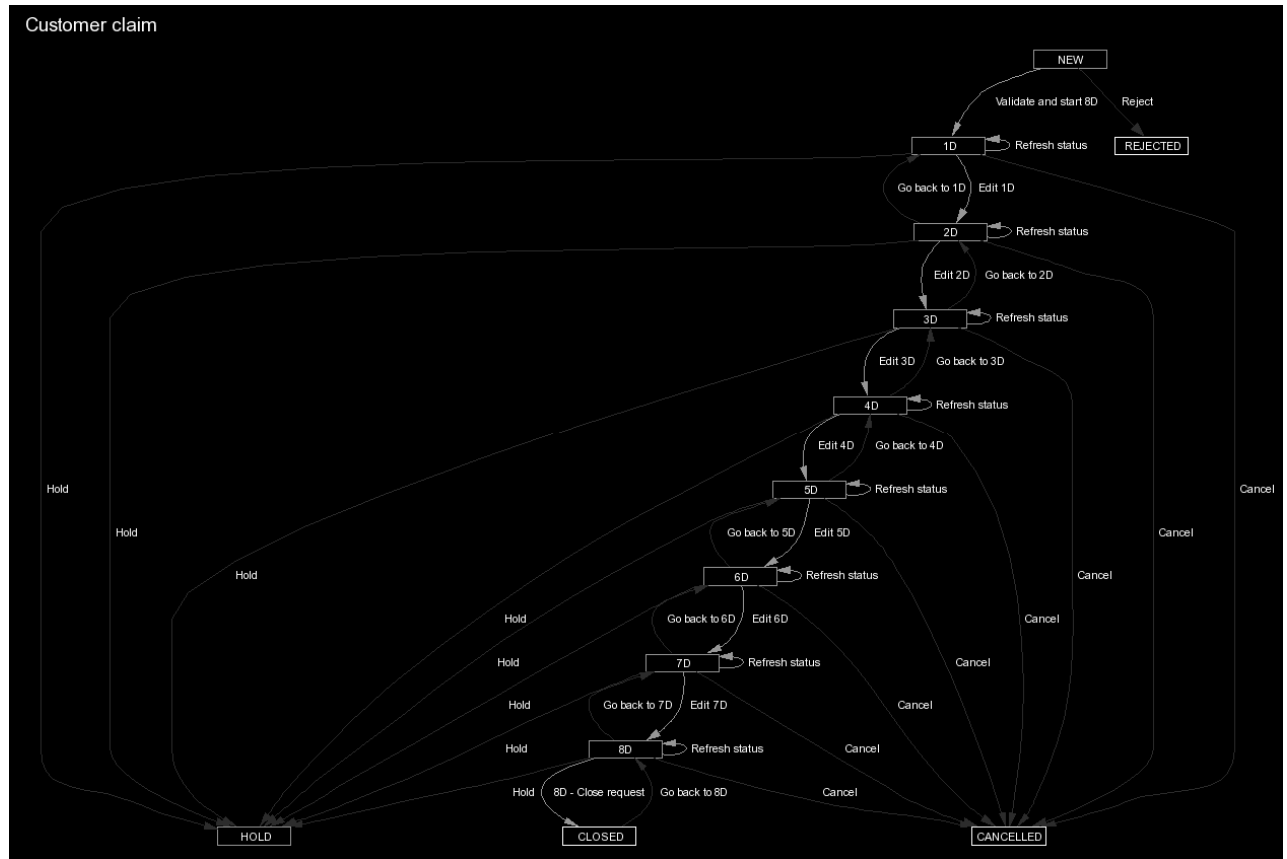
If Qty = 1 Then
    occ = 3
ElseIf Qty = 2 Then
    occ = 4
ElseIf (2 < Qty And Qty <= 4) Then
    occ = 4
ElseIf (4 < Qty And Qty <= 12) Then
    occ = 5
ElseIf (12 < Qty And Qty <= 26) Then
    occ = 6
ElseIf (26 < Qty And Qty <= 52) Then
    occ = 7
ElseIf (52 < Qty And Qty <= 365) Then
    occ = 8
ElseIf (365 < Qty And Qty <= 989) Then
    occ = 9
ElseIf 989 < Qty Then
    occ = 10
End If
'-----
SheetToReadIn.Cells(i, 12) = occ
'-----
SheetToReadIn.Cells(i, 15) = sev * occ
'-----
SheetToReadIn.Cells(i, 14) = sev * occ * 3
'-----
i = i + 1

Loop Until (i > count_line)
SheetToReadIn.Columns("A:A").Select
Selection.Delete
End If
'-----'

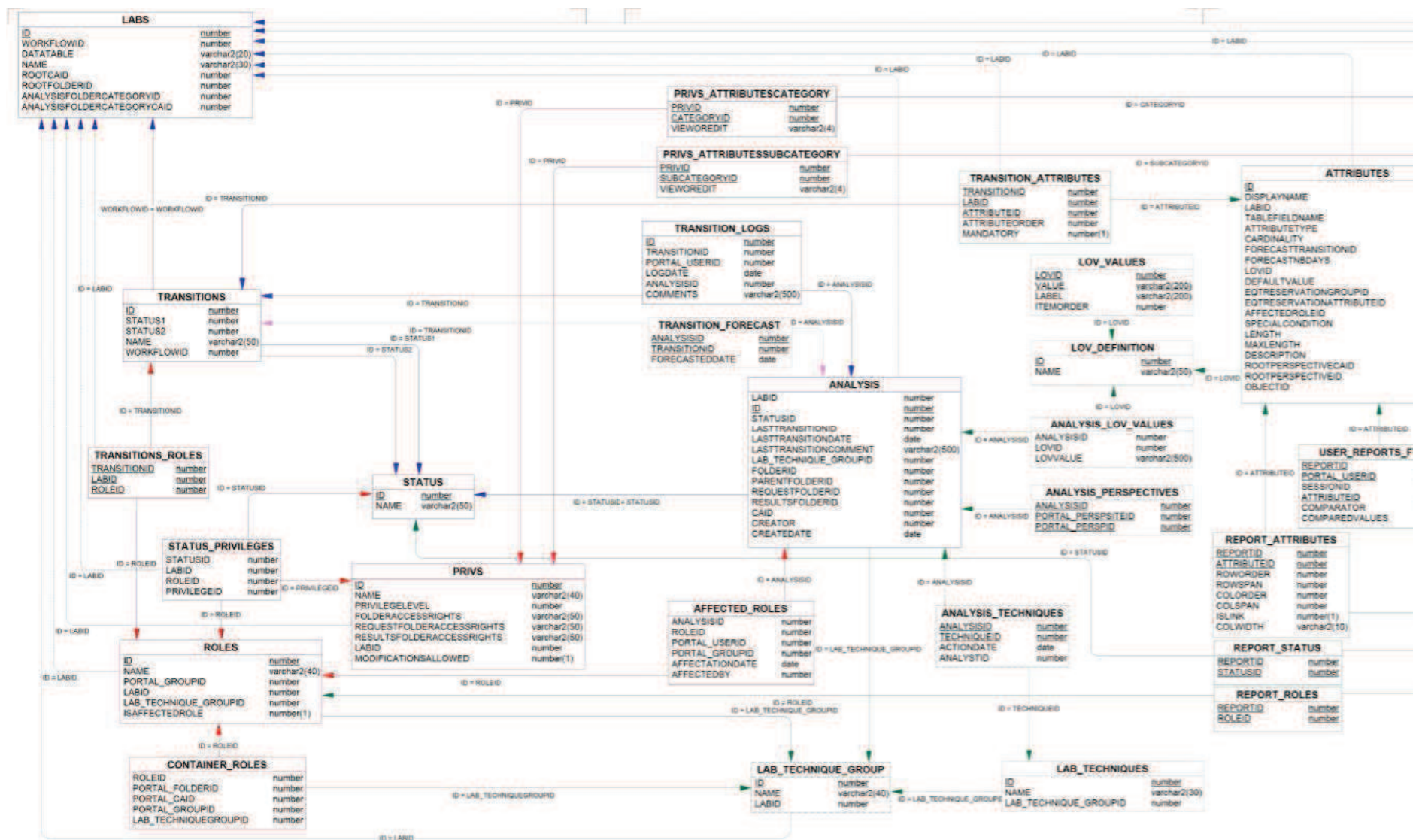
```

Annexe 6 Flow FAIR8

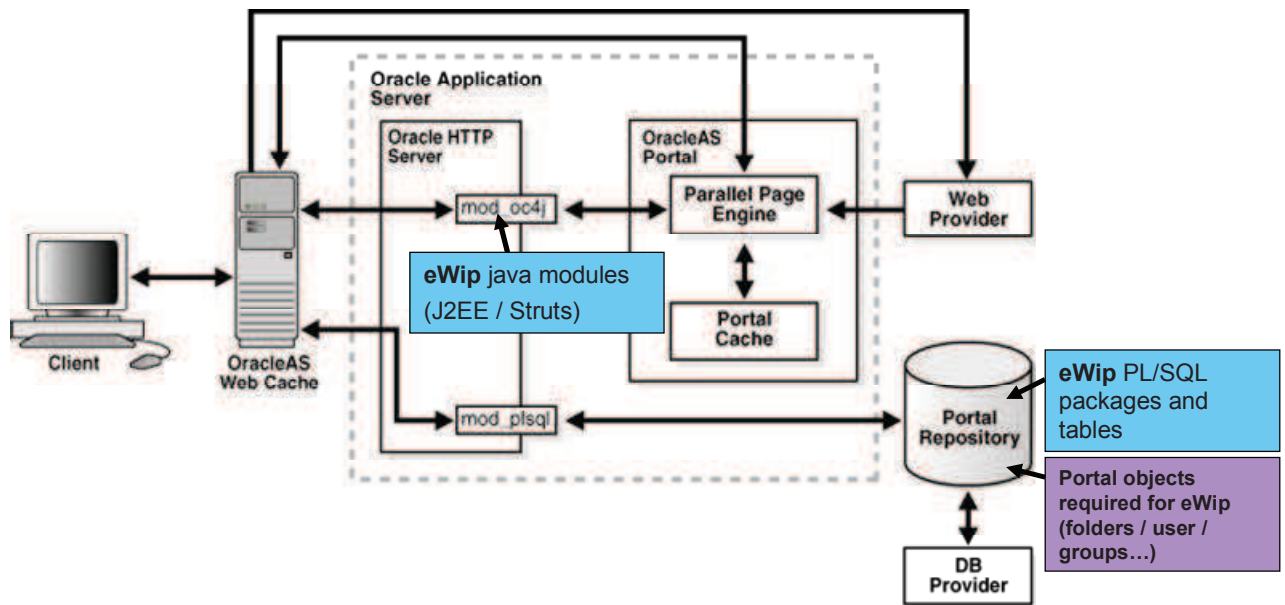
Customer claim



Annexe 7 Schéma de la base FAIR8 (extrait)



Annexe 8 [Architecture technique](#)



- Most of the application is developed in Oracle PL/SQL language.
- A few modules are developed in java (J2EE/Struts) and deployed on OC4J (Oracle J2EE AS)

Vers des méthodes fiables de contrôle des procédés par la maîtrise du risque

Contribution à la fiabilisation des méthodes de process control d'une unité de Recherche et de Production de circuits semi-conducteurs

Résumé :

S'appuyant sur une démarche qualité et l'utilisation de moyens d'analyse de données fiables, les acteurs opérationnels cherchent à adresser quotidiennement deux aspects : le contrôle et la réduction continus de la variabilité d'une part et la gestion, évaluée de risque et des actions à entreprendre d'autre part. Cette thèse s'intéresse en particulier au second aspect. Néanmoins, le contrôle et la réduction continue de la variabilité n'ont jamais été négligés puisqu'ils ont servi à quantifier opérationnellement les gains obtenus par la méthodologie proposée. La question centrale de cette thèse vient adresser les deux préoccupations citées précédemment : *Comment évaluer et améliorer la performance des moyens et processus de production par le biais d'une analyse de risque qui soit dynamique et intégrée. Comment définir par la suite des plans d'action unifiés et robustes pour maîtriser la variabilité et éviter les non conformités ?* Cette thèse propose une méthode globale de gestion dynamique des plans d'actions. Il s'agit d'établir dans un premier temps des liens continus entre les événements réels des équipements et le niveau de risque estimé. Et de proposer un processus de gestion des plans d'actions unifié, joignant l'expertise humaine et les événements réels, d'aide à la décision et de gestion des retours d'expérience. Cette thèse propose des *solutions de gestion des risques opérationnels et des méthodologies* de travail appliquées dans le domaine de l'industrie des semi-conducteurs mais qui sont génériques et applicables dans d'autres secteurs industriels.

Mots-clés :

Analyse des risques, contrôle des procédés, Maintenance basés sur les risques, AMDEC, plan d'action.

Abstract:

Search for methods to control & reduce variability & management efforts along with associated risk evaluation & actions, have been an area of keen interest for industries focused on operational excellence. This thesis address the second aspect i.e. risk evaluation & action plans, however control and reduction of variability & management efforts have never been neglected because it provides us a mean to quantify the excellence obtained as a result of proposed methodology. Main question addressed in this thesis are: *How to evaluate and improve the performance of production processes using integrated and dynamic risk analysis approach? How to define unified action plans to better understand variability to avoid non conformities?*

Global method is proposed for the dynamic management of action plans: It includes establishing links between equipment & real time events based on risk levels and proposing a unified action plan based on human expertise & real events to help in decisions and feedback. This thesis also proposes solutions for operational risk management and working methodologies applied to semiconductor industry BUT generic enough to be applied to other industries.

Keywords:

Risk analysis, Process control, Risk Based Maintenance, FMECA, Action plan.